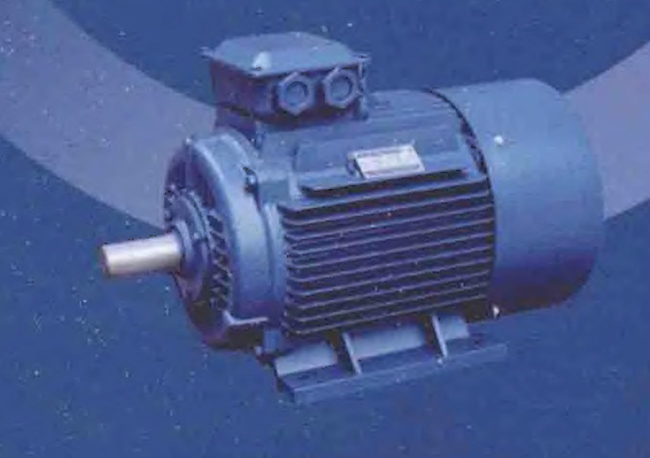
才家刚 等
编著

SANXIANG
YIBU DIANDONGJI
WEIXIU SHOUCE

三相异步电动机维修手册



上海科学技术出版社
SHANGHAI SCIENTIFIC & TECHNICAL PUBLISHERS

三相异步电动机维修手册

才家刚　等编著

上海科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

三相异步电动机维修手册/才家刚等编著. —上海：上海科学技术出版社，2014.3

ISBN 978-7-5478-2058-2

Ⅰ.①三… Ⅱ.①才… Ⅲ.①三相异步电动机—维修—技术手册 Ⅳ.①TM343.07-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 258528 号

三相异步电动机维修手册

才家刚　等编著

上海世纪出版股份有限公司
上海科学技术出版社 出版

(上海钦州南路 71 号　邮政编码 200235)

上海世纪出版股份有限公司发行中心发行

200001　上海福建中路 193 号　www.ewen.cc

常熟市兴达印刷有限公司印刷

开本 889×1194　1/32　印张：10.375

字数：300 千字

2014 年 3 月第 1 版　2014 年 3 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5478-2058-2/TM·43

定价：35.00 元

本书如有缺页、错装或坏损等严重质量问题，
请向工厂联系调换

内容提要

本书以图文并茂的形式，详细介绍三相交流电压中、小型异步电动机的常见故障原因的分析及判定、修理技术及常用数据，以及检查和试验方法，直观地展现了复杂的技术问题和操作工艺，内容均采自于国内有丰富经验的电机制造和修理企业，具有较强的可操作性。

本书可供电机使用和维修工及相关技术人员使用，电机设计和制造部门的工程技术人员及职校、技校相关专业师生也可参阅。

前 言

随着我国电力事业的迅速发展，中、小型交流异步电动机已被广泛应用于工业和人们的日常生活中。因此，了解和掌握一定的电机使用和维修知识，并做到合理使用，保证生产和生活的顺利进行，不单是电机维修专业人员的需要，也是所有使用人员的需要。

本书将介绍三相异步电动机的拆装方法、故障现象和原因分析、故障查找和排除方法、绕组的制作和嵌线浸漆、性能试验等知识。

本书的第一个特点是图文并茂，并且大部分图片都是来自生产现场，所以读者容易理解和学习；第二个特点是全部内容均来自实践，其中很多内容是作者亲身经历的案例，示范性和现场指导性极强；第三个特点是很多工艺技术均为国内现用行之有效的较好做法，并具有一定的先进性。

本书由才家刚主编，参加编写、绘图和资料收集整理等工作的有吴亚旗、才雪冬、李红、齐永红、才学静、王爱红、薛红秋、齐岳、施兰英等。

在本书编写过程中，北京毕捷电机股份有限公司（原北京市电机总厂）和福建远东华美电机集团公司的领导和很多富有实践经验的工程师、专业技术人员和现场维修人员给予了大力支持。在此一并表示衷心的感谢。

由于作者的技术水平和实践经验有限，书中难免有不妥之处。恳请广大读者批评指正。

编著者

目 录

1　常用三相异步电动机分类和性能数据

1.1　三相异步电动机的分类

1.1.1　按尺寸或电压分类

按外形尺寸[含机座号(或中心高，单位 mm)和铁心外径]大小分大、中、小、微共4类。

按所用电源额定电压的高低，分为高压和低压两大类。

以上的分类见表1－1。

表1－1　按大小和电压高低分类方法

分类项目	类　　型			
大　小	大　型	中　型	小　型	微　型
	机座号＞630 mm或铁心外径＞990 mm	机座号≥355～630 mm或铁心外径≤990 mm	机座号≥63～315 mm	机座号＜63 mm
电　压	高　　压		低　　压	
	额定电压≥1 kV或1.14 kV		额定电压＜1 kV或1.14 kV	

1.1.2　按使用时的安装方式分类

按电动机在使用时的安装方式，分卧式和立式两大类，分别用符号IM B *x* 和 IM V *x* 表示，其中“IM”是国际通用安装方式代码(英文International Mounting type的两个字头)，“B”代表卧式，“V”代表立式，“*x*”实际为阿拉伯数字(1个或2个)。表1－2、表1－3给出了常用的类型，图1－1给出了最常用的5种示例。

表1－2　常用卧式安装方式图示和代码

代号	图　示	说　明	代号	图　示	说　明
B3		用底脚安装在基础构件上	B35		借底脚安装在基础构件上，并附用凸缘端盖安装配套设备

（续表）

代号	图示	说明	代号	图示	说明
B34		借底脚安装在基础构件上，并附用凸缘平面安装配套设备	B8		用底脚安装在天花板上
B5		用凸缘端盖安装	B9		D端无端盖，借D端的机座端面安装
B6		用底脚安装在墙上。从D端看，底脚在左边	B15		D端无端盖，用底脚主安装，D端机座端面辅安装
B7		用底脚安装在墙上。从D端看，底脚在右边	B20		有抬高的底脚，并用底脚安装在基础构件上

表1-3 常用立式安装方式图示和代码

代号	图示	说明	代号	图示	说明
V1		用凸缘端盖安装，D端朝下	V6		用底脚安装在墙上，D端朝上
V15		用底脚安装在墙上，并用凸缘作辅安装，D端朝下	V8		D端无端盖，借D端的机座端面安装，D端朝下
V3		用凸缘端盖安装，D端朝上	V9		D端无端盖，借D端的机座端面安装，D端朝上
V36		用底脚安装在墙上，并用凸缘作辅安装，D端朝上	V10		机座上有凸缘，并用其安装，D端朝下
V5		用底脚安装在墙上，D端朝下	V16		机座上有凸缘，并用其安装，D端朝上

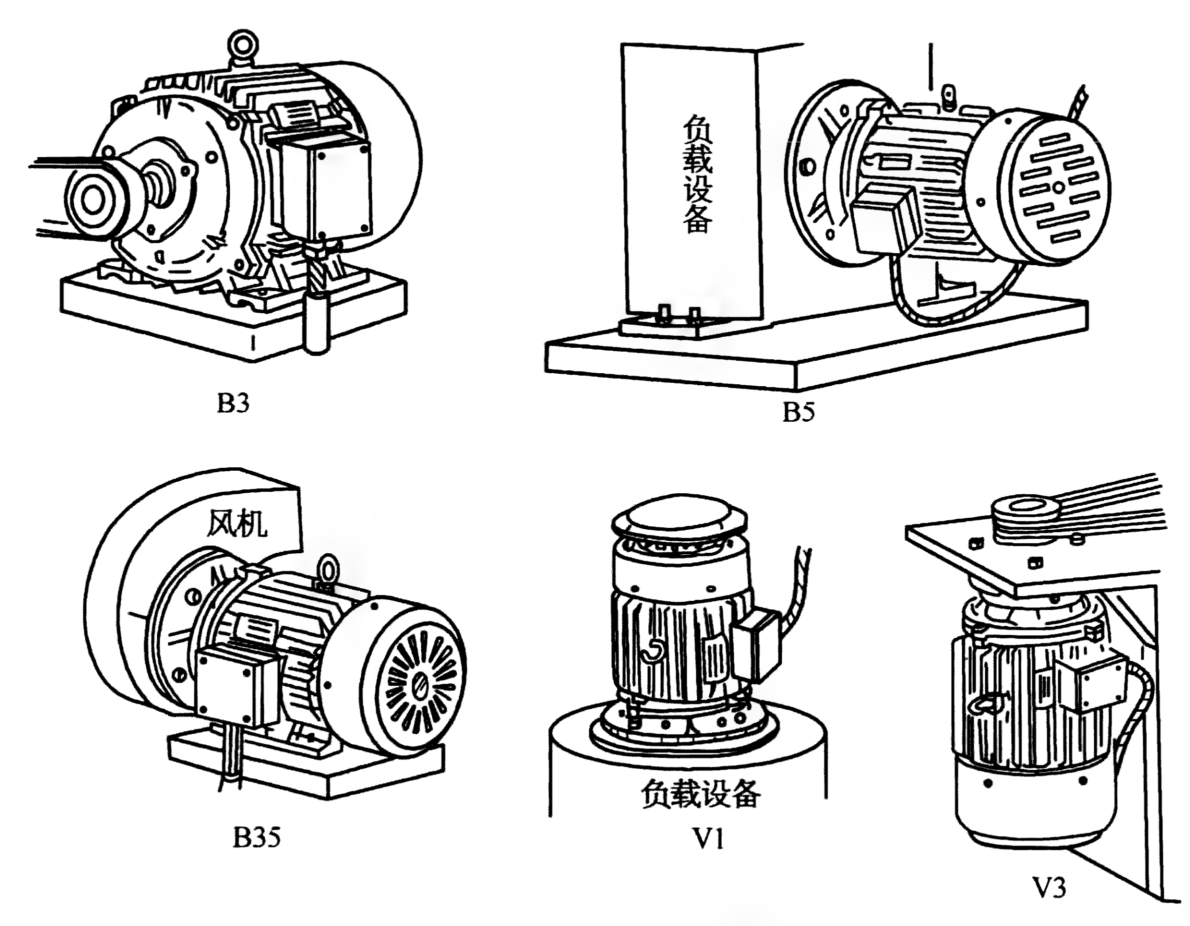


图 1-1 常用安装方式示意图

1.1.3 按外壳防护能力分类

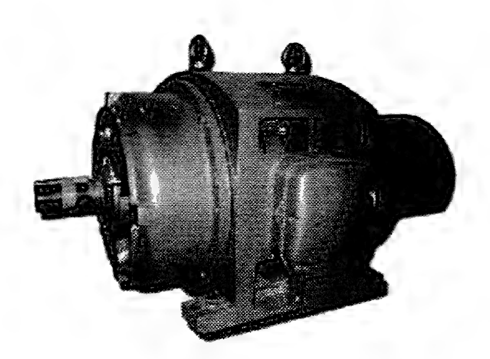
根据外壳防护其内部电器元件和运行元件避免外部物质(含人体)进入或触及的能力,对于防固体分 0～6 共 7 个等级,防液体分 0～8 共 9 个等级,两种防护组合分若干个等级。用"IP"(国际通用防护等级代码,是英语 International Degree of Protect 的两个字头)加一个表征防固体能力和一个表征防液体能力的数字表示。表 1-4 和表 1-5 给出了简单表述的内容,例如 IP54 是可防止尘土进入同时可防止溅水进入的电机。图 1-2 所示是部分示例。

表 1-4 第一位数字-防固体能力——不能进入的固体尺寸 (mm)

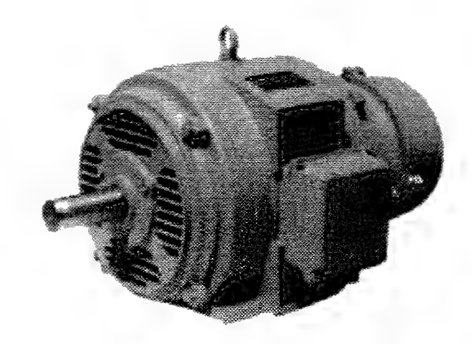
数字	0	1	2	3	4	5	6
可防护物体的最小尺寸	无专门防护	φ50	φ12	φ2.5	φ1.0	尘	严密防尘

表 1-5 第二位数字-防水能力——不能进入体内水的状态

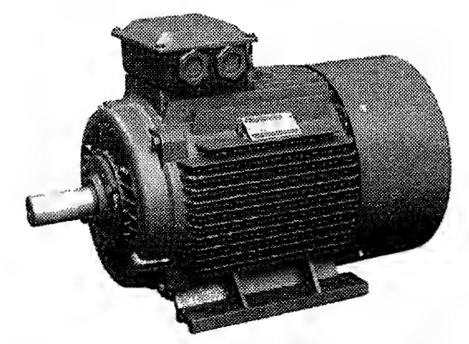
数字	0	1	2	3	4	5	6	7	8
可防进入水的状态	无专门防护	滴水	15°滴水	60°方向内的淋水	任何方向的溅水	一定压力的喷水	海浪或强喷水	一定压力的浸水	长期潜水



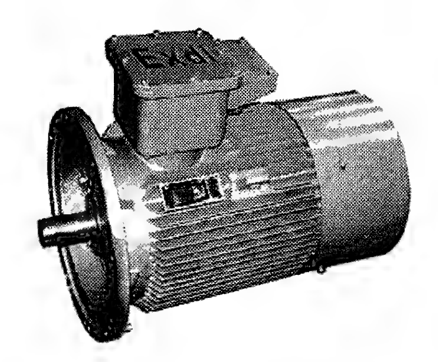
(a) IP11型（JR系列）



(b) IP23型 (YR系列电动机)



(c) IP54型（Y2系列电动机）



(d) IP55型 (YB系列电动机)

图 1-2 按外壳防护能力分类示例

1.1.4 按冷却方式分类

电动机根据冷却器、冷却介质及其运行方式可分若干种。用“IC”(国际通用冷却方式代码，是英文 International Cooling methord 的两个字头)加一些表征冷却介质及其运行方式、散热器件等信息的字母或数字表示。表 1-6 给出了几种常用的类型的冷却方式电机示例、示意图和简写(省去了代表用空气作为冷却介质的字母“A”)代码，其中“外风扇”代表由转轴自带、安装在机壳外部的风扇；“内风扇”代表由转轴自带、安装在机壳内部的风扇(含铸铝转子端环上的扇叶)；“自扇风”则是风扇由转子(或转轴)带动风扇运转产生用于冷却的风。

表 1-6 几种常用类型的冷却方式电动机示例、示意图和简写代码

电机类型	外形示例	冷却系统示意图	冷却方式	冷却代码
Y2 系列三相异步电动机			内外风扇自扇风式，外壳散热	IC411
JR 系列绕线转子三相异步电动机			内风扇自扇风式，冷却介质由一端吸入，从另一端排出	IC01
YVF 系列变频调速电动机			内风扇，外装恒速风机冷却式，外壳散热	IC416
轧钢辊道用电动机			内风扇，靠机壳表面冷却式（通过辐射散热）	IC410
机车牵引电动机			内风扇，靠运行时的相对运动的自然风冷却式	IC418
YKK 系列电动机			外装空气冷却器冷却式	IC611

（续表）

电机类型	外 形 示 例	冷却系统示意图	冷却方式	冷却代码
YYF 系列电动机			外吹风强制冷却式	IC06
YSL 系列电动机			靠机壳流动水冷却式，冷却用水通过管道进入和排出	IC3W7

1.1.5 按工作制分类

电动机的工作制实际上就是电动机在运行时，起动、加负载运行、空转或停转、制动等工作过程的时间安排。

电动机的工作制分 10 种，分别用 S1～S10 共 10 个代码来表示，其前 8 种使用较多，分类内容见表 1－7，前 8 种工作制输入功率与时间关系图见图 1－3。图中横轴（时间轴）上方的部分为吸收电功率（电动机状态），下方的部分为输出电功率（发电机状态）。

表 1－7 电动机工作制分类及各工作制的内容

代码	名 称	电动机运行状态简介
S1	连续工作制	保持在恒定负载下运行至热稳定状态
S2	短时工作制	在恒定负载下按给定的加载时间运行，电动机在该时间内不足以达到热稳定，随之停机和断能，停机时间足以使电动机完全冷却
S3	断续周期工作制	按一系列相同的工作周期运行，每一周期包括一段恒定负载运行时间和一段停机并断能时间
S4	包括起动的断续周期工作制	按一系列相同的工作周期运行，每一周期包括一段对温升有显著影响的起动时间、一段恒定负载运行时间和一段停机和断能时间
S5	包括起动和电制动的周期工作制	按一系列相同的工作周期运行，每一周期包括一段起动时间、一段恒定负载运行时间、一段电制动时间和一段停机并断能时间
S6	连续周期工作制	按一系列相同的工作周期运行，每一周期包括一段恒定负载运行时间和一段空载运行时间，无停机并断能时间

（续表）

代码	名　　称	电动机运行状态简介
S7	包括电制动的连续周期工作制	按一系列相同的工作周期运行，每一周期包括一段起动时间、一段恒定负载运行时间和一段电制动时间，无停机和断能时间
S8	包括变速变负载的连续周期工作制	按一系列相同的工作周期运行，每一周期包括一段按预定转速运行的恒定负载时间和一段或几段按其他转速运行的其他恒定负载时间，无停机和断能时间

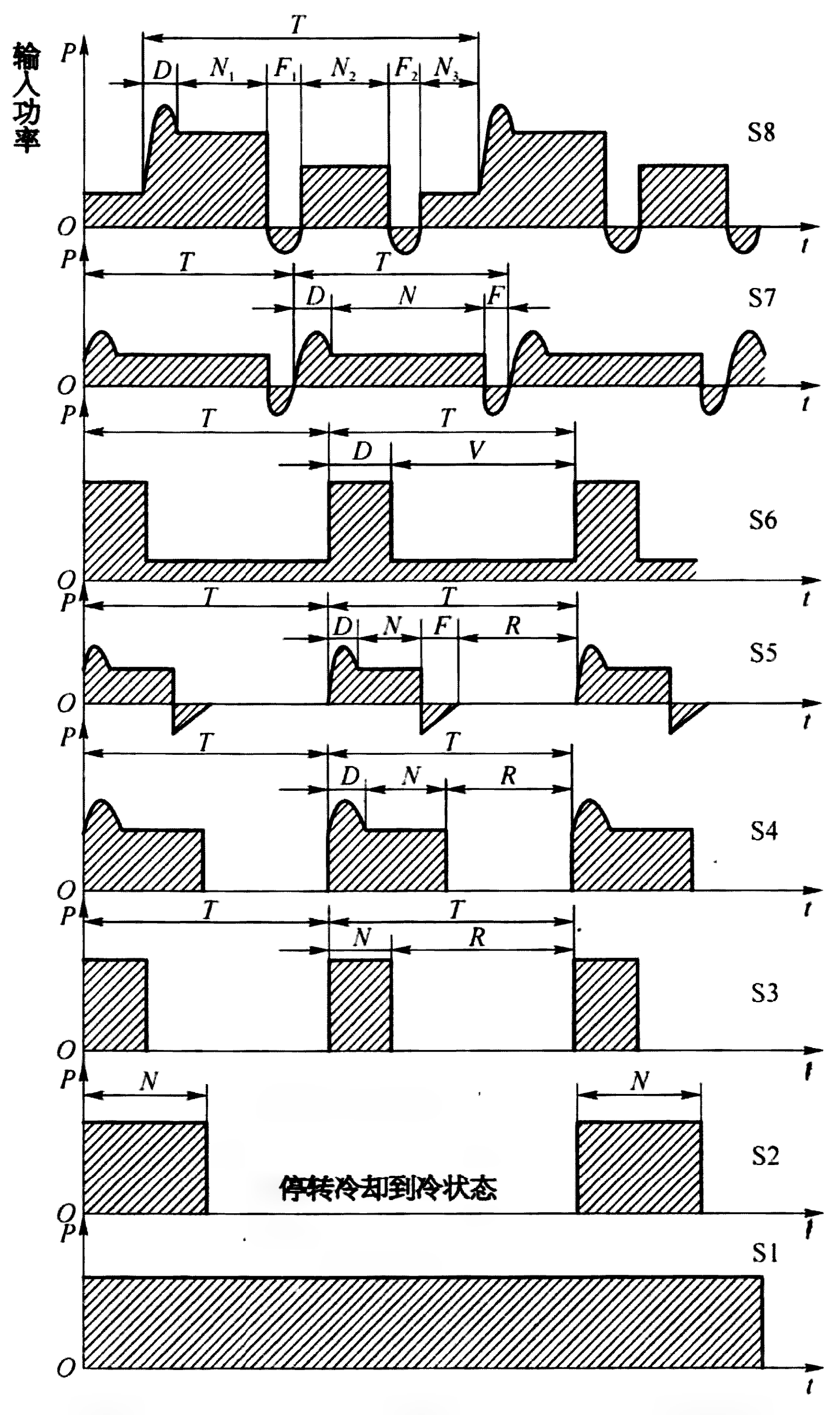


图 1-3　S1～S8 工作制输入功率与时间关系图解

D—起动；*N*—运行；*R*—停转；*V*—空转；*F*—电制动

1.1.6 按使用环境分类

1. 普通电动机对使用环境的要求

(1) 使用地点的海拔高度不超过 1 000 m。

(2) 使用地点的环境(电动机周边,含室内和箱内)温度最高不超过 40℃;最低不低于−15℃,但输出功率<600 W、带换向器、使用滑动轴承和以水为冷却介质的电机,规定为 0℃。

(3) 使用地点的最湿月月平均最高空气相对湿度不超过 90%,同时该月月平均最低温度不应超过 25℃。

2. 适应的特殊使用环境代码

按可适应的特殊使用环境,可分为高原(海拔超过 1 000 m)型、船(海)上型、户(屋)外型、防化学腐蚀型、防爆型、防湿热型、防干热型等多种,分别在电动机型号的最后一部分内容中以字母的形式给出,各类型的字母代码见表 1-8。

表 1-8 电动机适用特殊环境代码

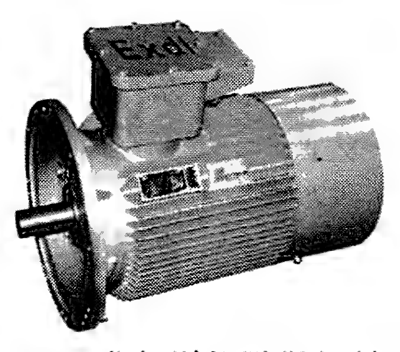
适用特殊环境	高原	船(海)	户(屋)外	化工防腐	热带	湿热带	干热带
代　码	G	H	W	F	T	TH	TA

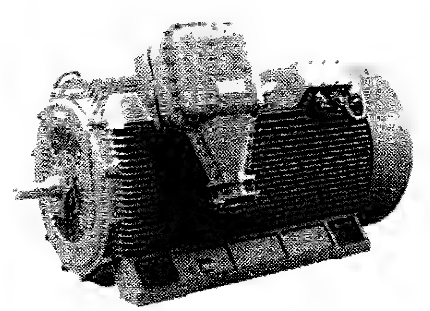
1.1.7 按防爆性能分类

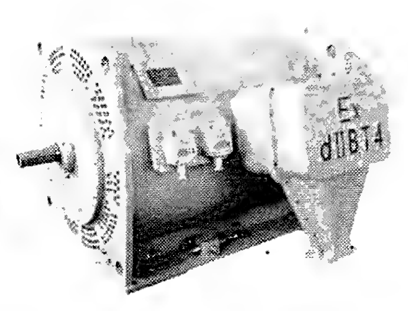
防爆电动机分类见表 1-9。国家标准规定,标志防爆电动机的符号应以阳文(文字凸出平面)的形式铸造在部件上,ExdⅠ代表Ⅰ类,Ex 代表Ⅱ类。图 1-4 所示为防爆电动机特征符号标注示例。

表 1-9 防爆电动机分类

大类	使用场合	详　细　分　类
Ⅰ类	煤矿	表面可能堆积粉尘时,允许最高表面温度为 150℃
		表面不会堆积或采取措施可以防止堆积粉尘时,允许最高表面温度为 450℃
Ⅱ类	存在易燃易爆气体和粉尘的工厂和其他类似场合	按其使用的爆炸气体混合物最大试验安全间隙,分为 A、B、C 三个级别。可以写成ⅡA、ⅡB 或ⅡC
		按其最高表面温度分为 T1～T6 共 6 组,允许温度分别为 450℃、300℃、200℃、135℃、100℃和 85℃







(a) Ⅰ类小型低压防爆电动机　(b) Ⅱ类中型低压防爆电动机　(c) Ⅱ类B级T4组高压防爆电动机

图 1－4　防爆电动机特征符号标注示例

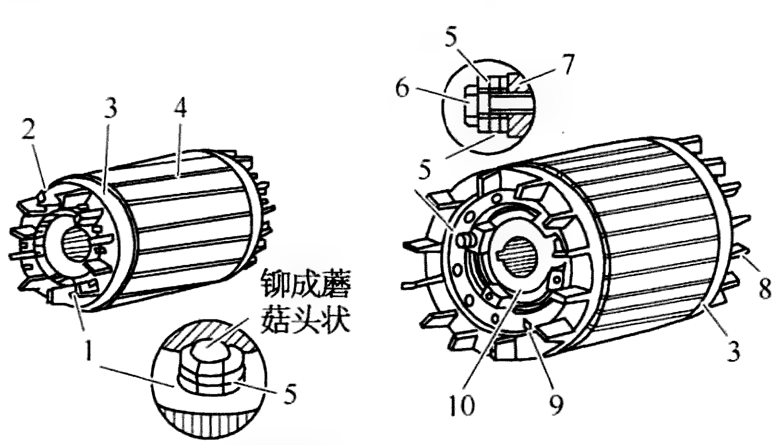
1.1.8　按转子结构形式分类

三相异步电动机的转子有笼型转子和绕线转子两大类。

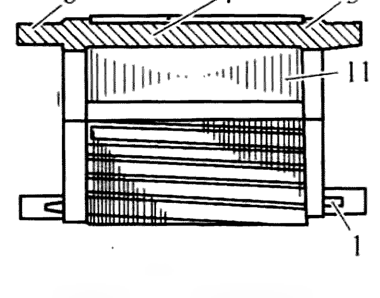
1. 笼型转子

根据使用的导条材料不同，又可分为铸铝转子和铜条转子两种，其结构如图 1－5a～图 1－5d 所示。近几年在高效电动机领域又出现了铸铜转子。笼型转子的槽数一般会少于定子的槽数，并且不一定是 3 的整数倍数。

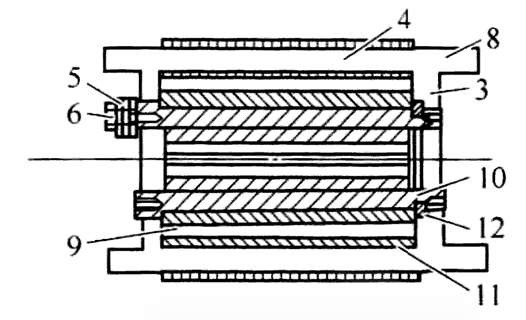
另外，根据转子槽口的情况，分为开口、半开口和闭口三种；按槽的横截面形状，又分为很多种。如图 1－5e 所示。



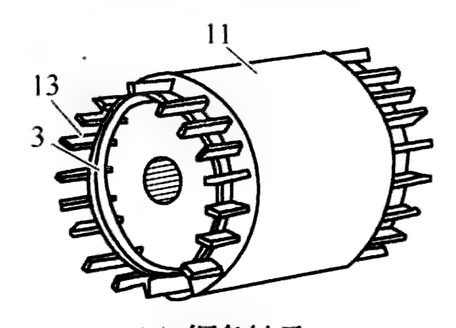
(a) 铸铝转子两种结构外形



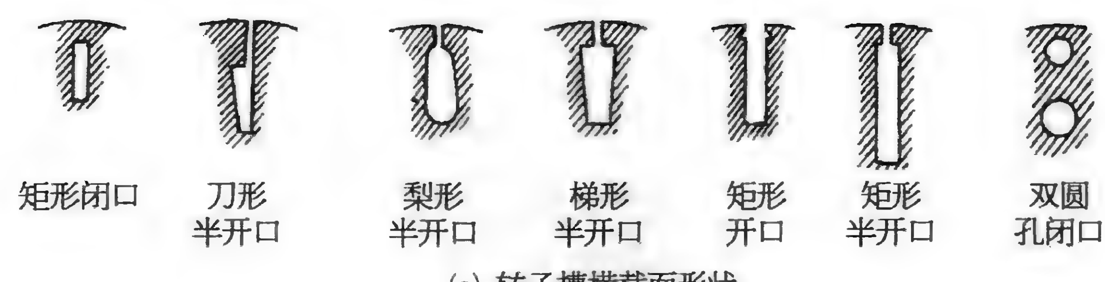
(b) 小容量电动机铸铝转子剖面图



(c) 大容量电动机铸铝转子剖面图



(d) 铜条转子



(e) 转子槽横截面形状

图 1-5 笼型转子和常用槽形

1—平衡杆；2—转子扇叶；3—端环；4—导条；5—平衡块；6—螺栓；7—转子支架助端头；8—扇叶；9—轴向通风孔；10—转子支架；11—铁心；12—环形卡圈(环键)；13—铜条

2. 绕线型转子

绕线型转子绕组用事先绕制的线圈组成，线圈的结构与定子绕组没有本质的区别，其相数与定子完全相同，图 1-6 是一个示例。

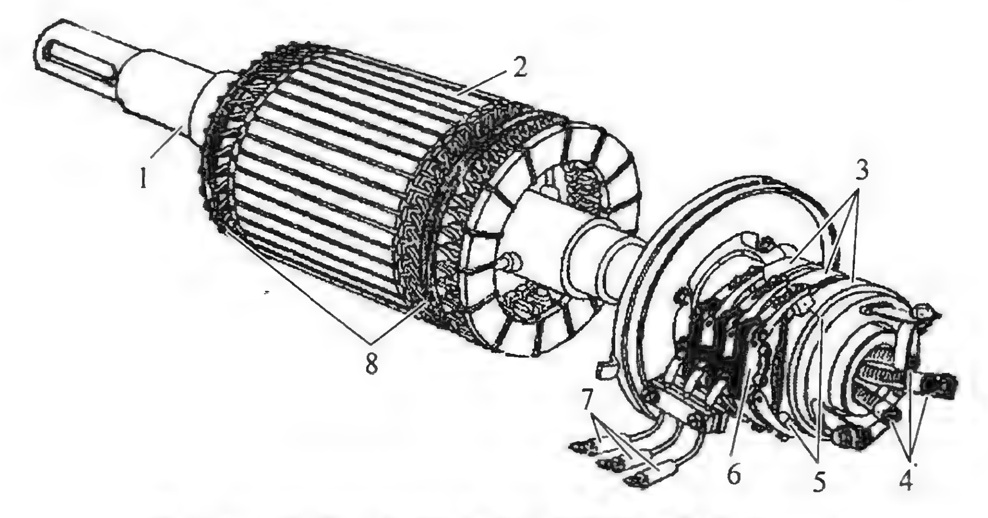


图 1-6 绕线型转子(含外部的电刷和集电环)示例

1—转轴；2—转子铁心；3—滑环；4—转子绕组出线头；5—电刷；6—刷架；7—电刷外接线；8—三相转子绕组

1.2 三相异步电动机的铭牌解读

1.2.1 铭牌示例

三相交流异步电动机铭牌中应标出的主要内容有：① 电动机型号；② 额定输出功率，单位用千瓦或瓦(kW 或 W)；③ 额定电压或电压范围(线电压值)，单位为伏(V)，有两种不同额定电压 x 和 y 时，应标成 x/y；电压范围是从 x 至 y 的，标成 x—y；④ 额定频率或额定频率范围，单位为赫兹(Hz)，两种及以上的标注方法同③；⑤ 额定线电流，单位用安(A)；

⑥ 额定转速，单位为转/分钟(r/min)；⑦ 三相绕组的接法(应给出接线图)；⑧ 外壳防护等级(IP 代码)；⑨ 工作制(连续工作制的可以不标注)；⑩ 绝缘热分级(绝缘等级)或温度限值；⑪ 所采用的定额和性能标准的编号(即该电动机技术条件编号)；⑫ 转子集电环之间的额定开路电压(仅对绕线转子电机)；⑬ 转子额定电流(仅对绕线转子电机)；⑭ 制造厂名或标记；⑮ 制造厂的产品编号或识别标记；⑯ 制造日期；⑰ 整机总重量，单位用千克(kg)；⑱ 电动机在使用时的安装方式，B3 和 B5 的可不标注；⑲ 额定功率因数；⑳ 额定效率；㉑ 噪声级标准限值；㉒ 使用环境最高允许温度；㉓ 所用轴承牌号规格；㉔ 其他有必要的内容。

在实际应用时，一般都会给出第①～⑰项内容，其余几项则不给出或视情况给出。

图 1－7 所示为普通单速、变极多速和绕线转子三相异步电动机的铭

三相异步电动机				
型号Y100L2-4W		50 Hz	接线图	
3 kW	220/380 V	接法Δ/Y	Y W2 U2 V2 U1 V1 W1 L1 L2 L3	Δ W2 U2 V2 U1 V1 W1 L1 L2 L3
6.8 A	转速1 430 r/min	工作制S1		
绝缘等级B		防护等级IP44		
噪声级Lw60 dB(A)		重量38 kg		
编号001258	2008年12月	JB/T 10391—2008		
中国北京毕捷电动机股份有限公司				

三相多速异步电动机					
型号YD2-160M-6/8		380 V	50 Hz	接线图	
B级绝缘	S1工作制	IP54	116 kg	8极 L1 L2 L3 1U 1V 1W 2U 2V 2W	6极 1U 1V 1W 2U 2V 2W L1 L2 L3
编号00168	2002年10月	JB/T 7127—1993			
极数	8	6			
功率kW	4.5	6			
电流A	13.3	14.7			
转速r/min	730	975			
接法	Δ	YY			
中国北京毕捷电动机股份有限公司					

三相绕线转子异步电动机				
型号YR280M-4		132 kW		50 Hz
定子	电压 380 V	转子	电压 419 V	
	电流 245 A		电流 194 A	
	接法 Y		接法 Y	
转速 1 460 r/min		工作制S1	绝缘等级B	
防护等级 IP23		重量500 kg	JB/T 5271—1991	
出厂编号 100119		生产日期 2009年5月		
中国北京毕捷电动机股份有限公司				

图 1－7 三相交流异步电动机铭牌示例

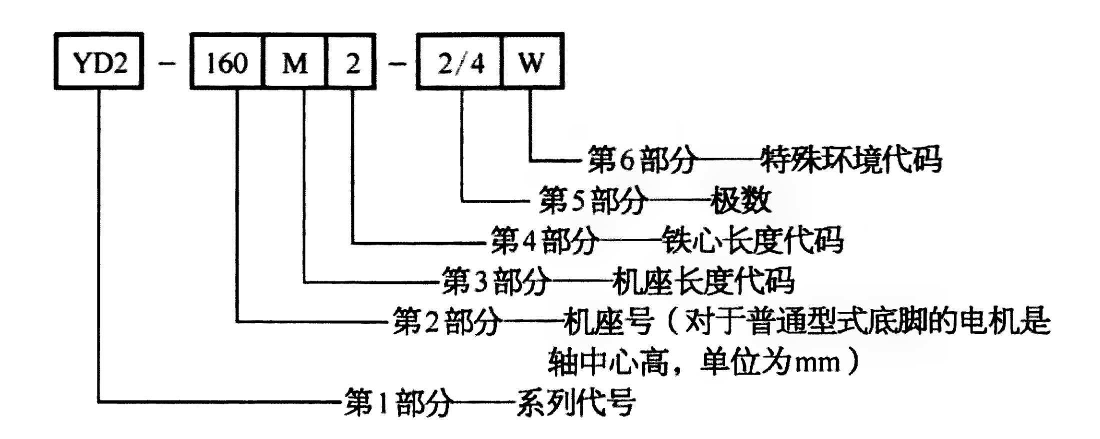
牌示例。

1.2.2 铭牌内容和相关知识

铭牌虽小，其标出的内容中却几乎包含该电动机所有的使用信息，是使用和维修工作的最重要依据。本部分将介绍其中主要内容的含义和相关知识。

1. 型号

国家标准 GB 4833《电动机产品型号编制方法》中规定：中小型交流异步电动机的型号一般由 6 部分组成，下面以型号为 YD2－160M2－2/4 W 的电动机为例，按前后顺序介绍这 6 部分的具体规定和有关内容。



1）第 1 部分——电动机系列代号

为该电动机所属系列的代号与设计方案序号（第 1 次设计方案无此序号）。系列代号由 1～4 个该电动机系列和品种文字中主要字的汉语拼音字头来表示（个别情况除外），第一个字母表示品种，即“Y”代表“异（YI）步电动机”；以后的字母代表该品种电动机的分类或者派生产品，例如“B”为“防爆（BAO）型异步电动机”、“R”为绕（RAO）线型转子异步电动机等，本例为“D”，表示变极多（DUO）速，即是“Y 系列变极多速电动机”。

若这些字母后面紧跟一个阿拉伯数字，则该数字为本系列电动机的设计序号。因第一次设计的 1 不必出现，所以此数字最小为 2，本例则为第 2 次设计，或者说第 2 代。

2）第 2 部分——机座号（中心高）

机座号是表示电机外形大小的代码，一般用径向尺寸来表示。对于常见有底脚的电机，是以其轴中心到底脚平面的垂直距离来表示（单位为 mm），例如本例为 160，即为 160 mm，所以也常被称为“中心高”（用符号

H 表示),如图 1-8 所示。对于无底脚的 IM B5、IM V1 等电机,则用与其相同机壳内圆直径的有底脚的电机的中心高数值来确定。

我国等同采用 IEC(国际电工技术委员会)推荐的小型电机机座号(中心高)为 63、71、80、90、100、112、132、160、180、200、225、250、280、315;中型电机机座号(中心高)为 355、400、450、500、560、630。

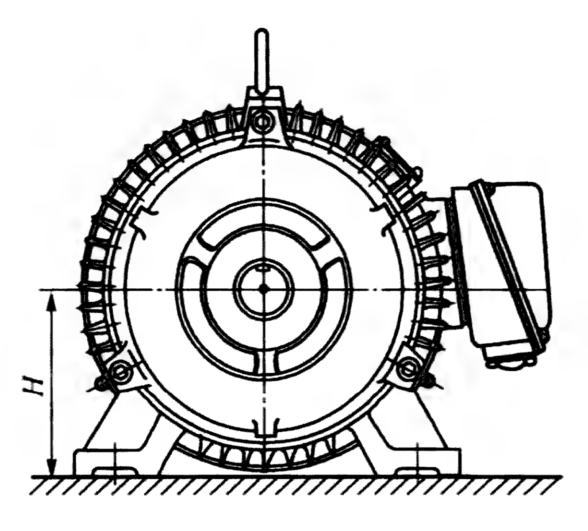


图 1-8 中心高 *H* 的定义

3) 第 3 部分——机座长度代码

机座长度代码是表示同一机座号不同长度的代码,分长机座、中机座和短机座 3 种,分别用英文字母 L、M、S 表示,各是英文 Long(长)、Middle(中等)、Short(短)3 个单词的第 1 个字母,如图 1-9 所示。本例为 M,即中等长度。

有些规格只有一种长度的机座,则允许不出现此部分,例如机座号为 80 的 Y2 系列电动机 Y2-80_2-4(有时也写成 Y2-802-4)等。

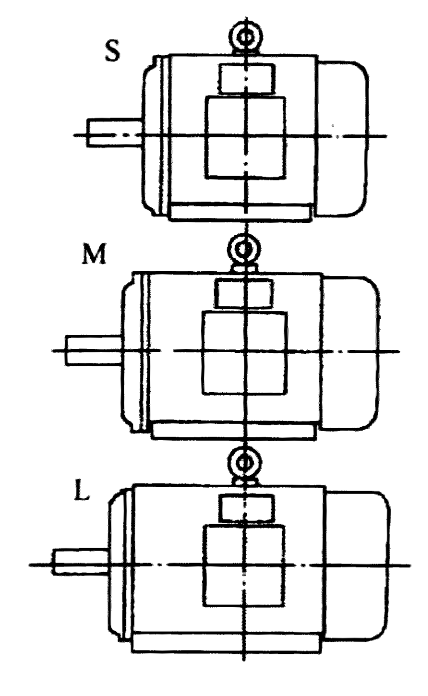


图 1-9 机座长度代码

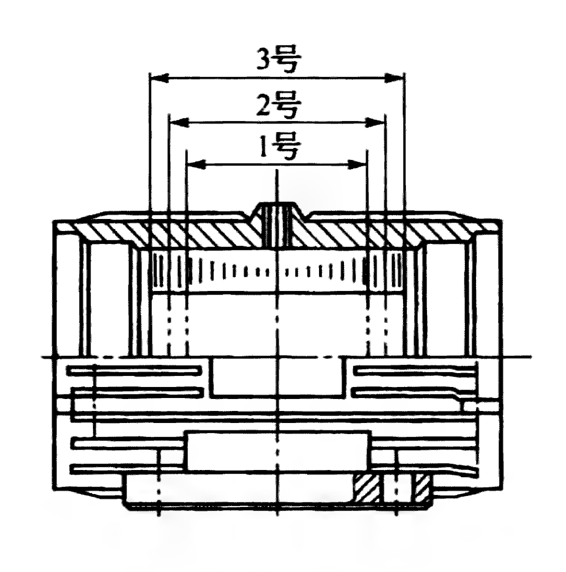


图 1-10 铁心长度代码的含义

4) 第 4 部分——铁心长度的代码

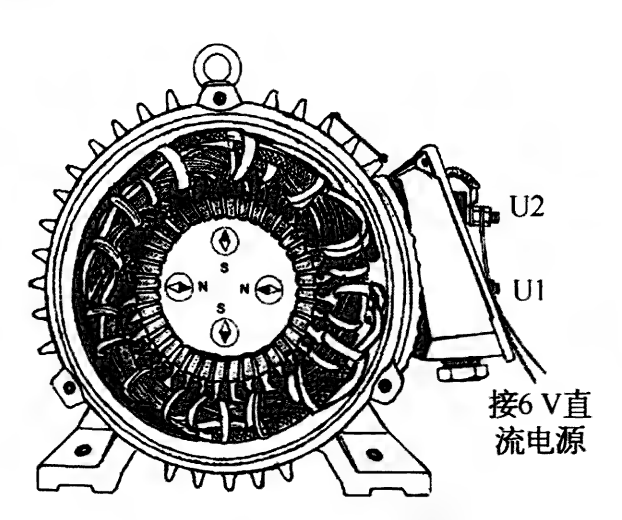
表示同一长度的机座中,不同长度的铁心,用数字 1、2、3…表示(习惯称为 1 号、2 号、3 号……,本例为 2 号),数值越大铁心越长,如图 1-10 所

示。相对而言，铁心越长，其功率也越大。例如 Y100L1－4 的铁心越长为 90 mm，Y100L2－4 的铁心越长为 120 mm，前者的额定功率为 2.2 kW，后者为 3 kW。只有一种长度时，可以不标出，例如 Y2－112M－4。

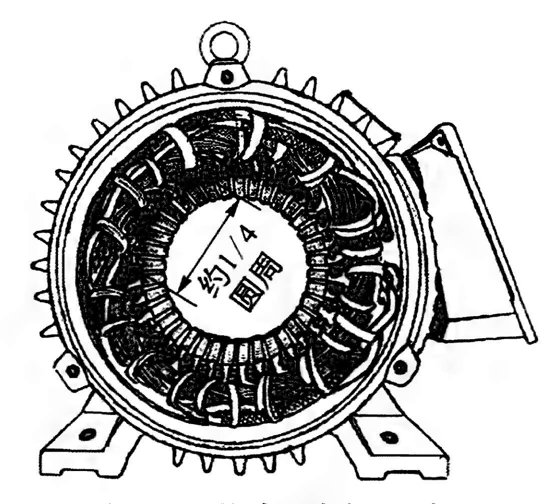
5）第 5 部分——极数

表示定子绕组通入三相对称的交流电后所产生的磁极数。本例具有两种数量的极数，即 2 极和 4 极。

若给一相定子绕组通一个直流电，用一个指南针在电机定子内沿其内圆移动一周，可清楚地看到所形成的磁极个数，如图 1－11a 所示的 4 极单层交叉链式绕组。对于只有一种极数的单速电动机，可从一个线圈两个边所在槽之间槽数表示的距离（称为线圈的“节距”或“跨距”，对同心式绕组用一相中 2 个或 3 个大小线圈的平均值）和总槽数之比来确定其极数。图 1－11b 给出定子铁心共 36 个槽，一个线圈两个边所在槽之间以槽数表示的距离为 8，36/8＝4.5≈4，所以为 4 极。



(a) 用指南针查看定子磁场的极数



(b) 通过绕组线圈的跨距确定子磁场的极数

图 1－11　定子磁场的极数

电动机的极数和所用电源的频率共同决定该电动机的转速。

6）第 6 部分——特殊环境代码

用字母表示该电动机可适应的特殊环境，详见表 1－8。本例为“W”，即可适用于在屋（户）外使用。

2. 额定功率

电动机的额定功率是指其在输入电量（电源电压和频率）为规定的额定值，并在符合规定的环境条件下（例如环境温度在 40℃以下，海拔在1 000 m以下，下同），能正常工作的轴输出机械功率，又称为容量，用符号 P_N表示，一般用千瓦（kW）作单位，不足 1 kW 的有时用瓦（W）作

单位。

一些出口或进口电机使用马力作单位。马力有米制和英制两种，两者有一个较小的差值，不加说明时，应认为是米制马力。另外，还有一个名称叫做“电工马力”，它在数值上等于英制马力。马力与千瓦之间的换算关系如下：

1 千瓦=1.36 米制马力；或 1 米制马力=0.735 5 千瓦

1 千瓦=1.34 英制马力；或 1 英制马力=0.746 3 千瓦

粗略计算时，用 1 千瓦=1.35 马力；或 1 马力=0.75 千瓦即可。

英制马力的符号用 hp 或 HP；米制马力目前还没有统一的表示符号，德国使用 PS，法国使用 ch 或 CV，其他国家还没有具体的规定，但经常使用英制马力的符号。

我国标准中确定的中小型电动机功率选取用档次推荐值为（单位为 kW）：0.18，0.25，0.37，0.55，1.1，1.5，2.2，3，4，5.5，7.5，11，15，18.5，22，30，37，45，55，75，90，110，132，160，185，200，220，250，280，315，335，355，375，400，425，450，475，500，530，560，600，630，670，710，750，800，850，900，950，1 000…

3. 额定电压

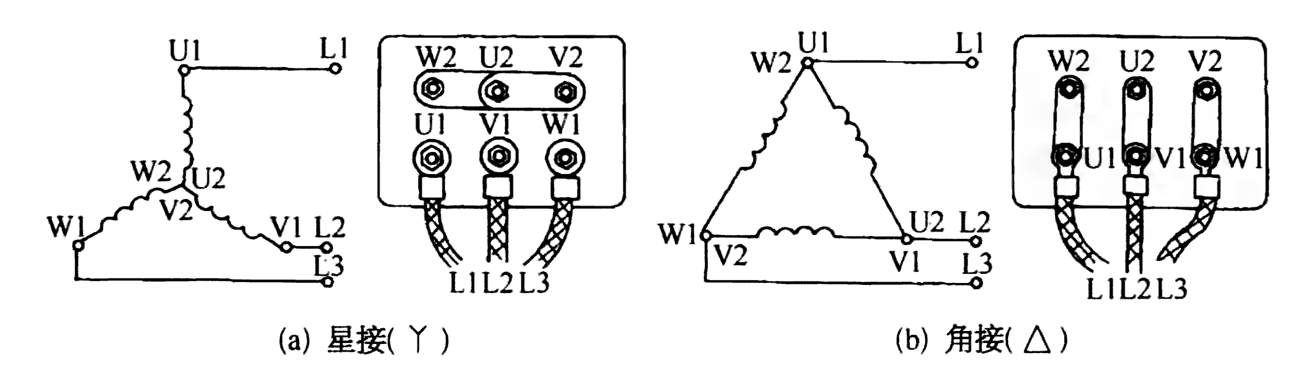
额定电压是保证电动机正常工作时所需的电源电压，指定子输入线电压用伏（V）或千伏（kV）作单位。有关线电压和相电压的定义及相互关系知识见 1.3.1。

我国的交流低压电动机一般为 220 V 或 380 V；高压电动机有 3 kV、6 kV 和 10 kV 等。当可采用两种电压时，在铭牌上标注用“/”线隔开，如 220 V/380 V 或 380 V/660 V 等。

4. 接线方式

1）单速电动机接线方式

单速三相异步电动机较常用的接线方式有两种，即所谓的星形和三角形，分别用符号“Y”和“△”表示，如图 1-12 所示（图中接线端子是三相绕组首、末端共引出 6 个）。两种接线方式要求的电源输入线电压关系是：星形连接（Y）=$\sqrt{3}$倍三角形连接（△）电压。例如星接为 380 V，则改成角接应变为 220 V；而角接为 380 V 时，则改成星接应变为 660 V。



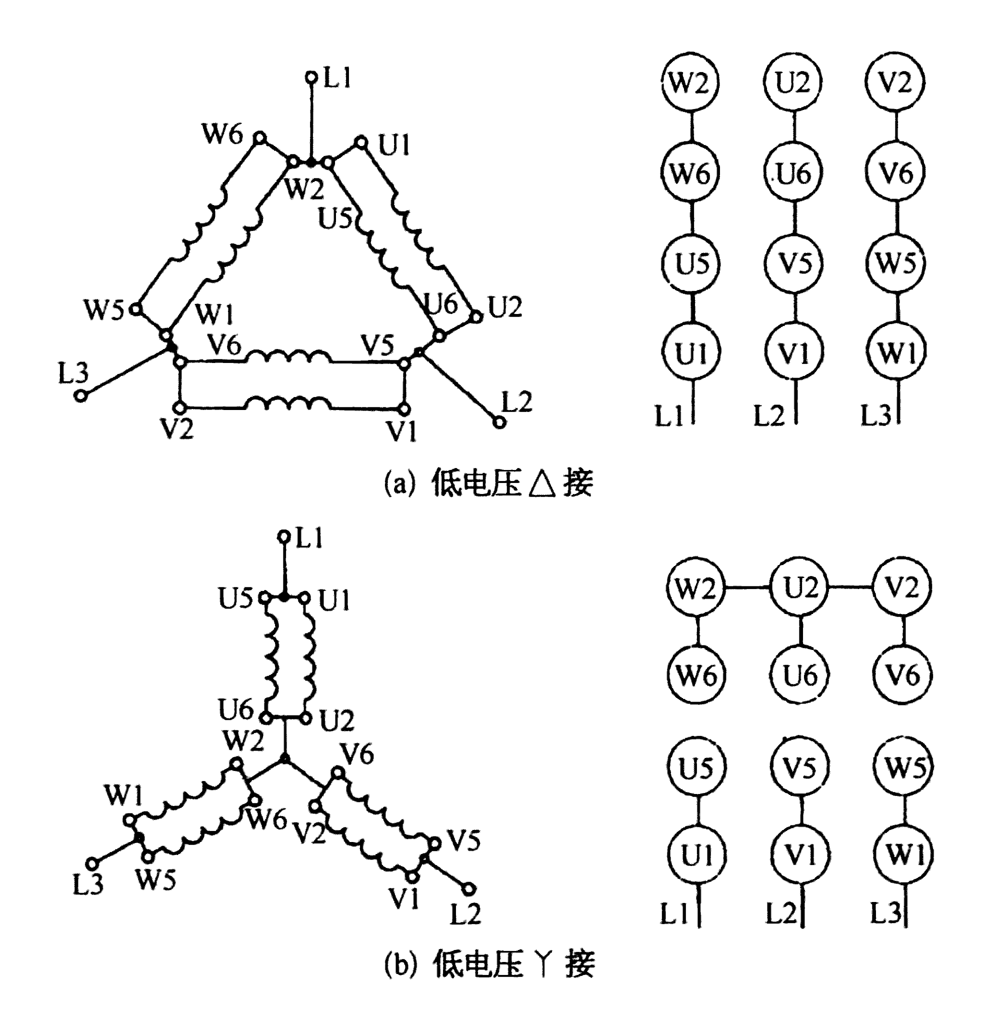
(a) 星接(Y)　(b) 角接(△)

图 1-12　三相绕组两种接线原理和端子接线方式

2）两种电压成整数倍关系的电动机接线方式

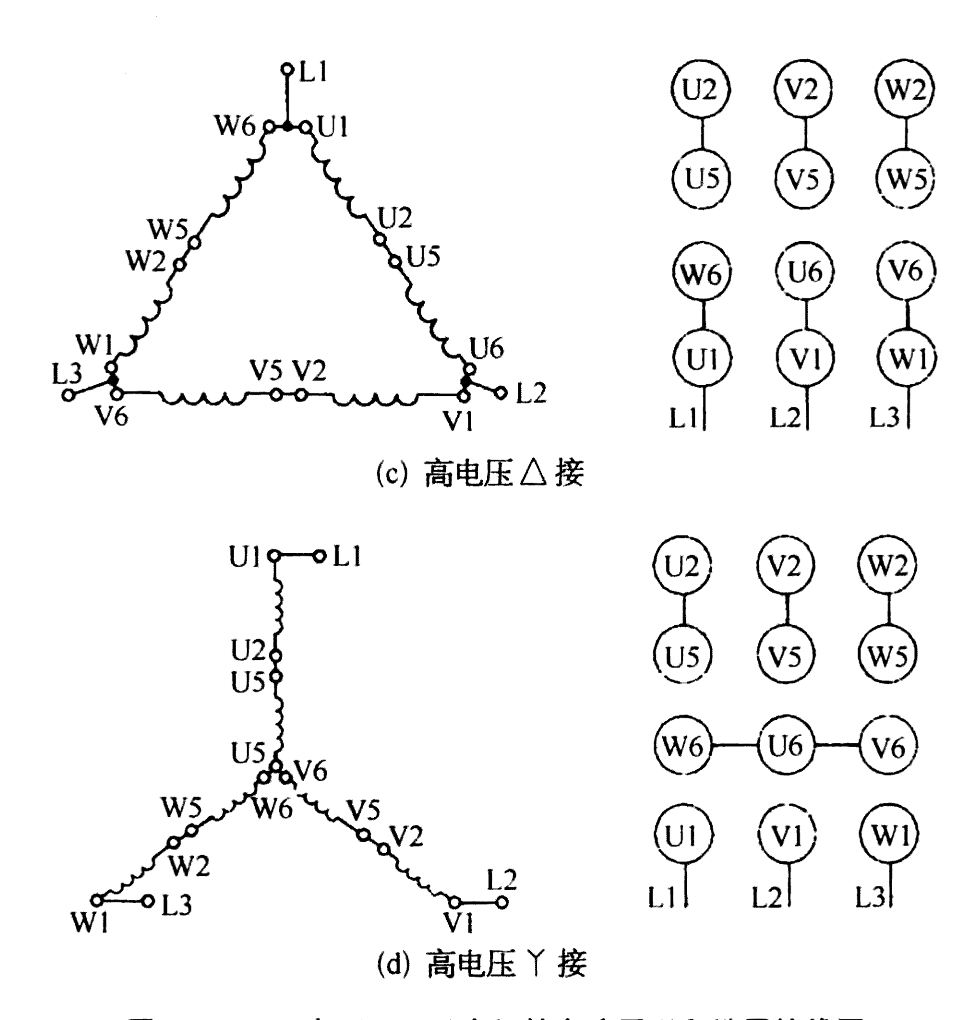
对于两种电压成整数倍关系(例如 220 V/440 V)的电动机接线方式则另有规定。一种接线方式对应一种供电电压，具体对应关系应按铭牌给定的数值或线路图，绝不可随意进行。

图 1-13 给出了一种 220 V 和 440 V 双电压绕组接线图。其绕组每一相都由两组完全相同的绕组组成，根据所需要的电压进行串联(用于高电压)或并联(用于低电压)。在同一种电压下(例如 440 V)，可以连接成星形(Y)或三角形(△)，相当于普通的星-三角转换。



(a) 低电压△接

(b) 低电压Y接



(c) 高电压△接

(d) 高电压丫接

图 1-13 双电压(1：2)电机的电路原理和端子接线图

3）多速电动机接线方式

变极多速电动机是通过改变同一定子绕组的接线方法或利用不同极数的绕组改变转速的电动机。一种接线方式对应一个转速，具体对应关系应按铭牌给定的数值或线路图，绝不可随意进行。第 4 章 4.3 中 4.3.3 给出了几种常用的绕组接线图。

5. 额定电流

额定电流是电机加额定电压和额定频率输出额定功率时的定子输入线电流（线电流的定义见 1.3.2），用安培（A）作单位。额定电流是选择配电设备和电源设备的最主要参数。

铭牌上给出的额定电流是一个根据该电机技术条件中规定的效率、功率因数、额定功率和额定电压，通过理论计算所得到的值，而不是实际输出额定功率时的电流值，但与实际值相差不会超过±5%。

设用符号 I、U、P、η、$\cos\phi$ 分别代替三相异步电动机的额定电流（线电流，单位为 A）、额定电压（线电压，单位为 V）、额定容量（额定功率，单位为 W）、效率标准值（用实际数值，不用百分数）和功率因数标准值，则计算

额定线电流 I 的公式为

$$I=\frac{P}{\sqrt{3}U\eta\cos\phi} \tag{1-1}$$

对于小型 380 V 的电动机，额定功率 P_N 的单位用kW 时，额定电流 $I_N\approx 2P_N$，这是估算额定电流的简易记法。使用此简易算法时，较小电机(功率<4 kW)可适当加大一点倍数，如 $2.2P_N$；反之，对较大电机(功率≥20 kW)，则应减小一点倍数，如 $1.9P_N$。对额定电压不是 380 V 的电机，可用 $I_N\approx 2P_N(380/U)$粗略地求出电流与功率的关系，例如额定电压 $U=$ 6 000 V，额定功率为 500 kW，则按较大电机使用 1.9 作为系数，$I_N\approx 1.9P_N(380/U)=1.9\times 500\times(380\div 6\,000)\approx 60.17$ A，(实际的铭牌值为 60 A 左右)。

6. 额定频率和转速

额定频率是保证定子同步转速为额定值的电源频率。对普通交流电动机，我国使用的额定频率为 50 Hz。使用 50 Hz 的还有东南亚、大洋洲、欧洲和非洲等大多数国家和地区，另外一些国家或地区(例如北美洲)则使用 60 Hz。

额定频率和电动机的极数决定了该电动机定子同步转速，用 f 表示额定频率(Hz)，用 n_s 表示定子同步转速(r/min)，用 p 表示极对数(极数的 1/2)，则

$$n_s=\frac{60f}{p} \tag{1-2}$$

额定转速是电机加额定频率的额定电压输出额定功率时的转子转速，单位为转/分钟(r/min)。由于交流异步电动机的工作原理决定了转子转速 n 永远要小于定子磁场的转速(即同步转速 n_s)，例如额定频率为 50 Hz 的 4 极电动机同步转速 $n_s=1\,500$ r/min，而其转子的实际额定转速为 1 450 r/min 左右。电动机的功率越小，差值越大。即所谓“不同步”，这也是此类电动机称为“异步”电动机的原因。

7. 绝缘等级

所谓绝缘等级实际上是指电机所用绝缘材料的耐热等级，所以也被称为“绝缘耐热分级”，简称为“热分级”。它表示电机中各种绝缘材料所能承受最高温度能力的水平。用 B、F、H、C 等字母表示。其各自的长期耐热温度最高值见表 1-10。

表 1-10 绝缘材料热分级代码和对应的允许最高温度

等级代码	B	F	H	C
耐热温度(℃)	130	155	180	>180

8. 绕线转子电机的转子开路电压

绕线转子的转子开路电压是指电机定子绕组接通额定频率的额定电压、转子三相绕组外接引线开路时，在两个集电环间的感应电压。

9. 绕线转子电机的转子额定电流

绕线转子电机的转子额定电流是指电机在额定输出运行时，转子绕组的线电流。因转子绕组一般接成Y形，所以也是相电流。

因电机运行时，转子电流频率很低(一般在 0.5 Hz 以下)。所以用普通指针式交流电流表测量时，指针将在一个小范围内来回摆动，不易确定其准确数值，可根据其平均值得到大概的结果；而普通数字电流表显示的数值一般会小于实际数值。

1.2.3 进、出口电机英文铭牌的识别

进、出口电机一般采用英文书写。因为没有统一规定，所以所用英文单词或简写形式等不尽相同。表 1-11 给出了一些中、英文对应关系，供参考。图 1-14 为两个出口电机的铭牌实例。其中英文单词字母有的全用大写，有的则只有第一个字母大写，阅读时应注意它们的含义是相同的。表 1-12 给出了一些电机生产国或知名公司的英文书写方式(其中括号内的英文是简写形式)。

表 1-11 三相交流异步电动机英文铭牌解读表

英　　文	中　文	英　　文	中　文
Three phase Induction motor	三相异步电动机	ROTOR AMPS	转子电流
TYPE; FRAME; Model	型号	STARTING AMPS	起动电流
POLES	极数	TEMPERATURE	温度
RATED OUTPUT; POWER	额定输出功率	EFF. ; EFFICIENCY; NOREFF	效率
VOLTAGE; VOLTS	电压	POWER FACTOR; $\cos\phi$	功率因数

（续表）

英　　文	中　文	英　　文	中　文
CURRENT;AMPS	电流	BEARING NO. DE BRING ODE BRING	轴承型号 主轴伸轴承 非主轴伸轴承
CONN	接法		
SPEED;R. P. M	转速		
INS. CL	绝缘等级	No. ;NO;SER No.	出厂编号
IP	防护等级	S. F	服务系数
IM	安装方式	DATE;Date Code	生产日期
IC	冷却方式	MADE IN . . . ; Made in . . .	由某某制作
ROTOR VOLTS	转子电压	WEIGHT	重量

表 1－12　世界主要电机生产国、地区、厂家名称英-中文对照表

英 文 名 称	中 文 名 称	英 文 名 称	中 文 名 称
China	中国	Sweden	瑞典
Australia	澳大利亚	Switzerland	瑞士
Belarus	白俄罗斯	United Kingdom	英国
Germany	德国	Mitsubishi	三菱(日本)
France	法国	Siemens	西门子(德国)
Italy	意大利	Westing house	西屋(美国)
India	印度	United States of America (U. S. A)	美国
Japan	日本		
Nether Lands	荷兰	Hong Kong	中国香港
Poland	波兰	Tai Wan	中国台湾
Russia(RUS)	俄罗斯	TECO	东元(中国台湾)
R. U. Korea(R. U. K)	韩国	TATUNG	大同(中国台湾)

3－PHASE INDUCTION MOTOR

TYPE Y2－132M－4	7.5kW	10HP	50Hz
380V	15.4A	CONN.Δ	
1440r/min	S1	IP55	
INS.CL F	Power Factor 0.85	80kg	
DE Bring 180308Z1	ODE Bring 180308 Z1		
NO.002002A	Date code 2002.5		

MADE IN BEI JING OF CHINA

INDUSTRAL ELECTRIC MOTOR EPACT RATED 3PHASE

Model Y180L－4	Ser No. 10086AB		Low Voltage
30 HP	Encl TEFC	IP 54	
FR	Voltage 380/660 V	60Hz	
CONN. Δ/Y	AMPS 42.5/24.5A	S1	
Ins. CL F	S.F.1.15	RPM 1760 r/min	High Voltage
Nor . Eff 91.5%	Rating 40℃ Amb Cont		
DE Bring 2311 Z1	ODE Bring 311Z1		
Power Factor 0.80	Date Code 2002.6		

Made in Bei Jing of China

图 1－14　出口电机的铭牌实例

1.3 线电压和相电压、线电流和相电流

1.3.1 线电压和相电压

三相交流电的线电压是指两条电源线之间的电压，如图 1－15 中电源 L1 和 L2、L2 和 L3 以及 L3 和 L1 之间的电压；而相电压是指一相绕组两个端点之间的电压，如图 1－15a 中电源 U1 和 U2、V1 和 V2 以及 W1 和 W2 之间的电压。两者之间的关系见表 1－13 和图 1－15。

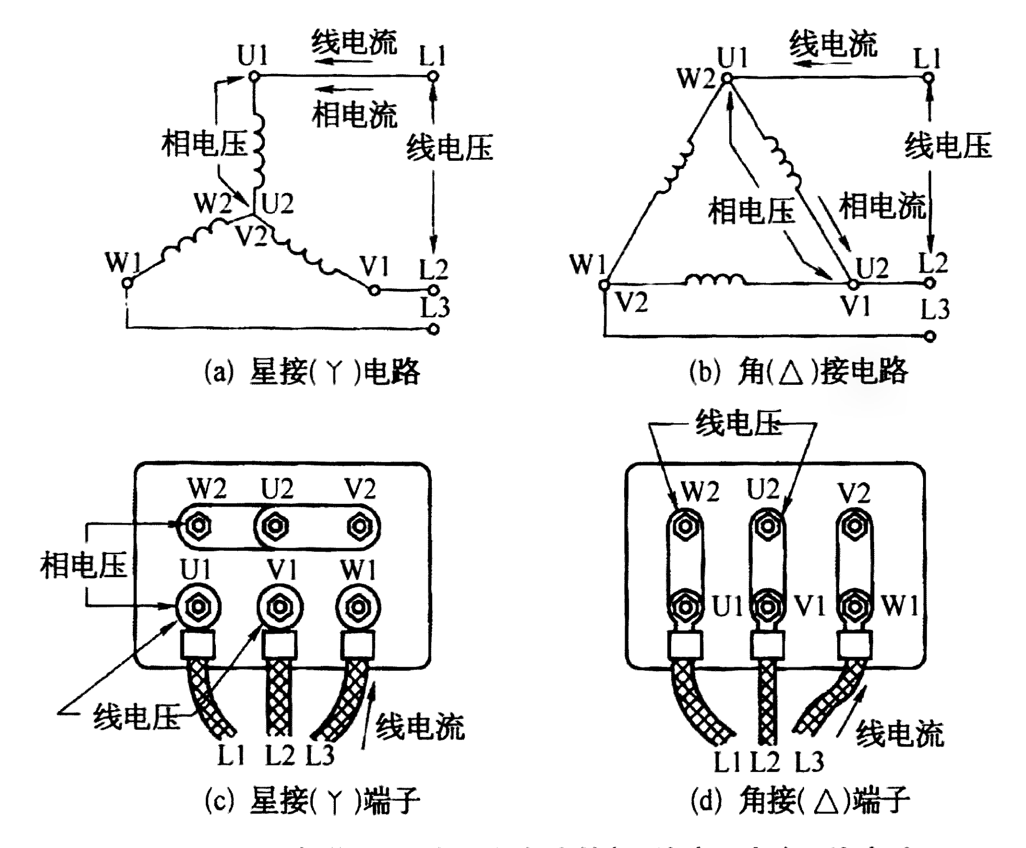


图 1－15 三相绕组两种接线方式的相、线电压与相、线电流

1.3.2 线电流和相电流

相电流是流过每一相绕组的电流；线电流是流过三相电源线中每一条线的电流。两者之间的关系见表 1－13 和图 1－15。

表 1－13 线电压和相电压、线电流和相电流之间的关系

三相绕组接法	线电压和相电压之间的关系	线电流和相电流之间的关系
星(Y)接	线电压$=\sqrt{3}$相电压	线电流＝相电流
角(△)接	线电压＝相电压	线电流$=\sqrt{3}$相电流

2　普通三相异步电动机的结构和拆装方法

2.1　普通笼型转子异步电动机的结构

2.1.1　总体结构

组成普通笼型转子三相异步电动机主要部件分 7 大部分：① 定子，含定子铁心、定子绕组等；② 机壳，含机座、端盖等；③ 转子，含转子铁心、转子绕组、转轴等；④ 风扇；⑤ 接线盒、接线板等接线部件；⑥ 轴承及相关配件，⑦ 铭牌和相关标志。

图 2-1 为一台机座号为 71～160 顶出线型 Y2 系列(IP54、IMB3)电动机的结构图。图 2-2 是一台机座号为 180～280 顶出线型 Y2 系列(IP54、IM B3)电动机的结构图。

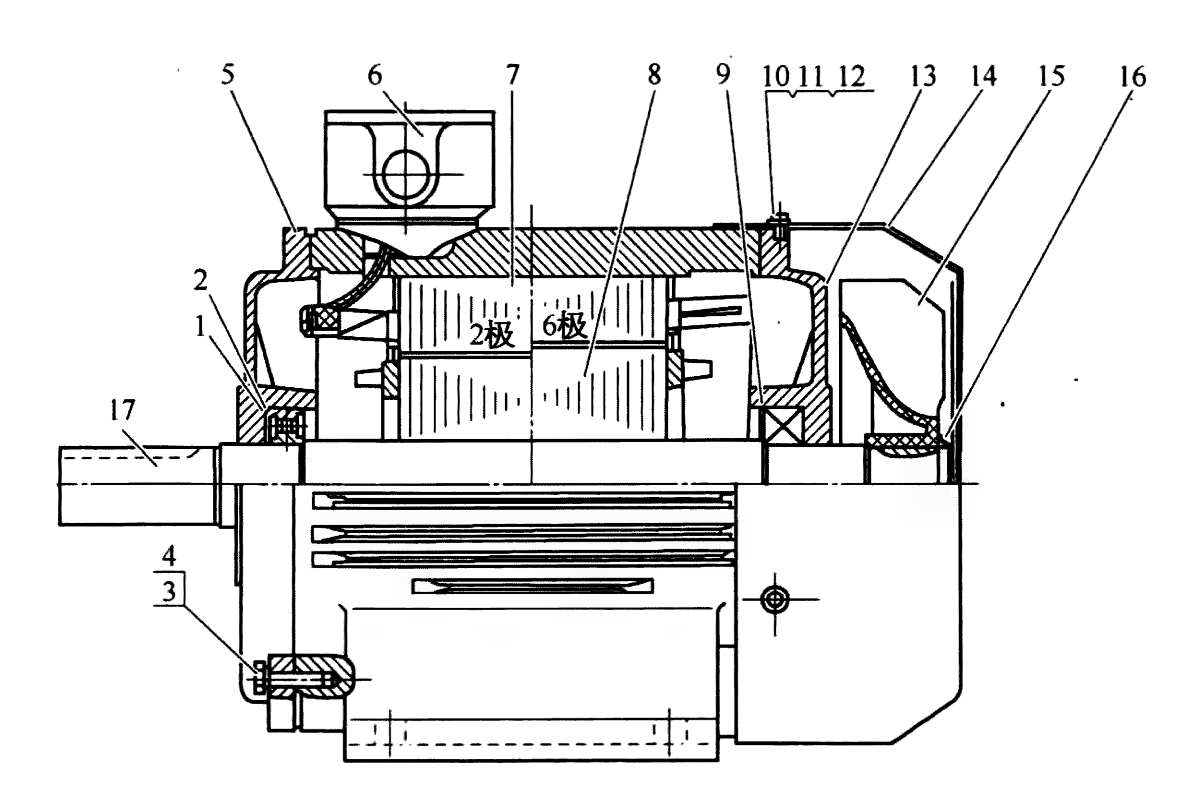


图 2-1　Y2 系列(IP54、IMB3)机座号 71～160 顶出线型电机结构图

1—轴承；2—波形弹簧片；3—螺栓；4、11、12—垫圈；5、13—端盖；6—接线盒；7—定子；8—转子；9、16—挡圈；10—螺钉；14—风罩；15—风扇

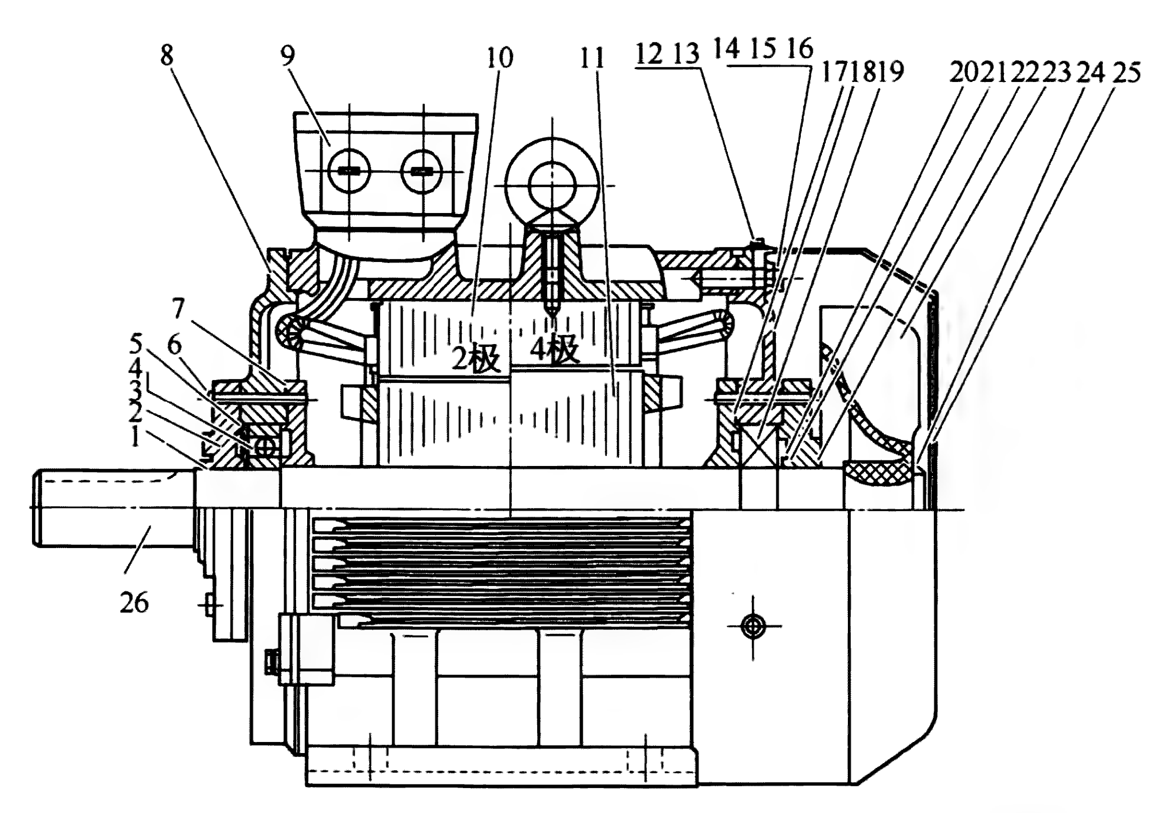


图 2-2 Y2 系列(IP54、IMB3)180～280 机座号顶出线电动机结构图

1、22—密封圈；2、21—轴承外盖；3、19—轴承；4—润滑脂；5—波形弹簧片；6、12、14—螺栓；7、17—轴承内盖；8、18—端盖；9—接线盒；10—定子；11—转子；13、15、16、20—垫圈；23—风扇；24—挡圈；25—风罩

2.1.2 主要部件

图 2-3 是无轴承外盖的电动机结构及部件拆解图，其端盖轴承室为半通孔。该电机防护等级为 IP44，安装方式为 IM B3。

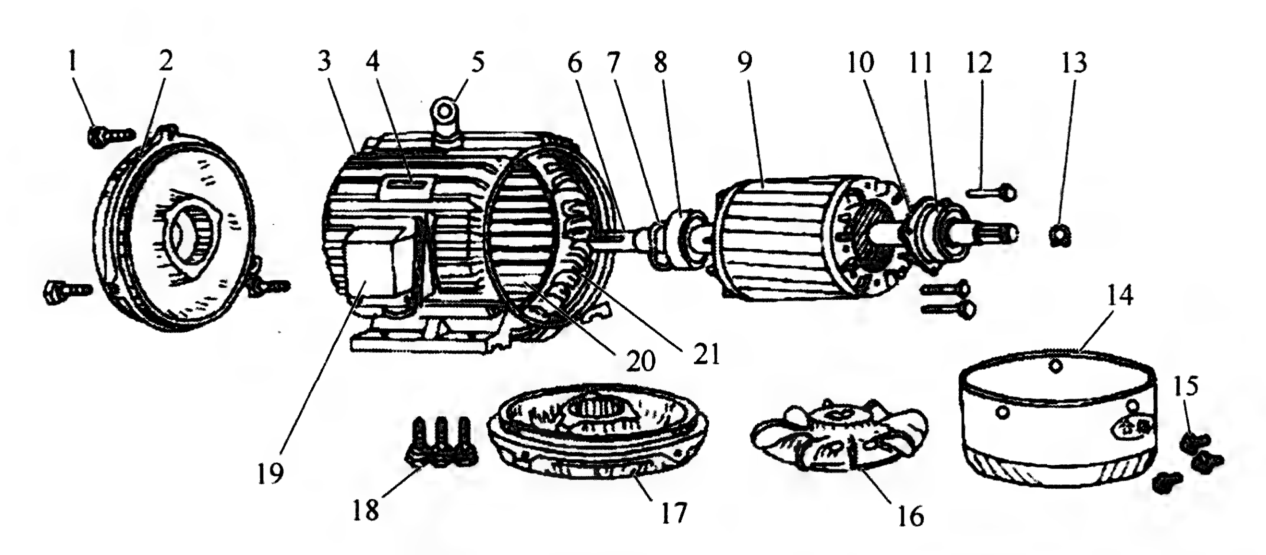


图 2-3 无轴承外盖的 IP44、IMB3 型电动机结构及拆解图

1、18—端盖螺栓；2—前端盖；3—机座；4—铭牌；5—吊环；6—轴；7—波形弹簧；8、11—轴承；9—转子；10—内小盖(轴承内盖)；12—轴承盖螺栓；13—外风扇卡圈；14—风扇罩；15—风扇罩螺钉；16—外风扇；17—后端盖；19—接线盒；20—定子铁心；21—定子绕组

图 2 - 4 是具有内、外轴承盖的电动机结构和部件拆解图。其端盖轴承室为全通孔。该电机防护等级为 IP54,安装方式为 IMB3。

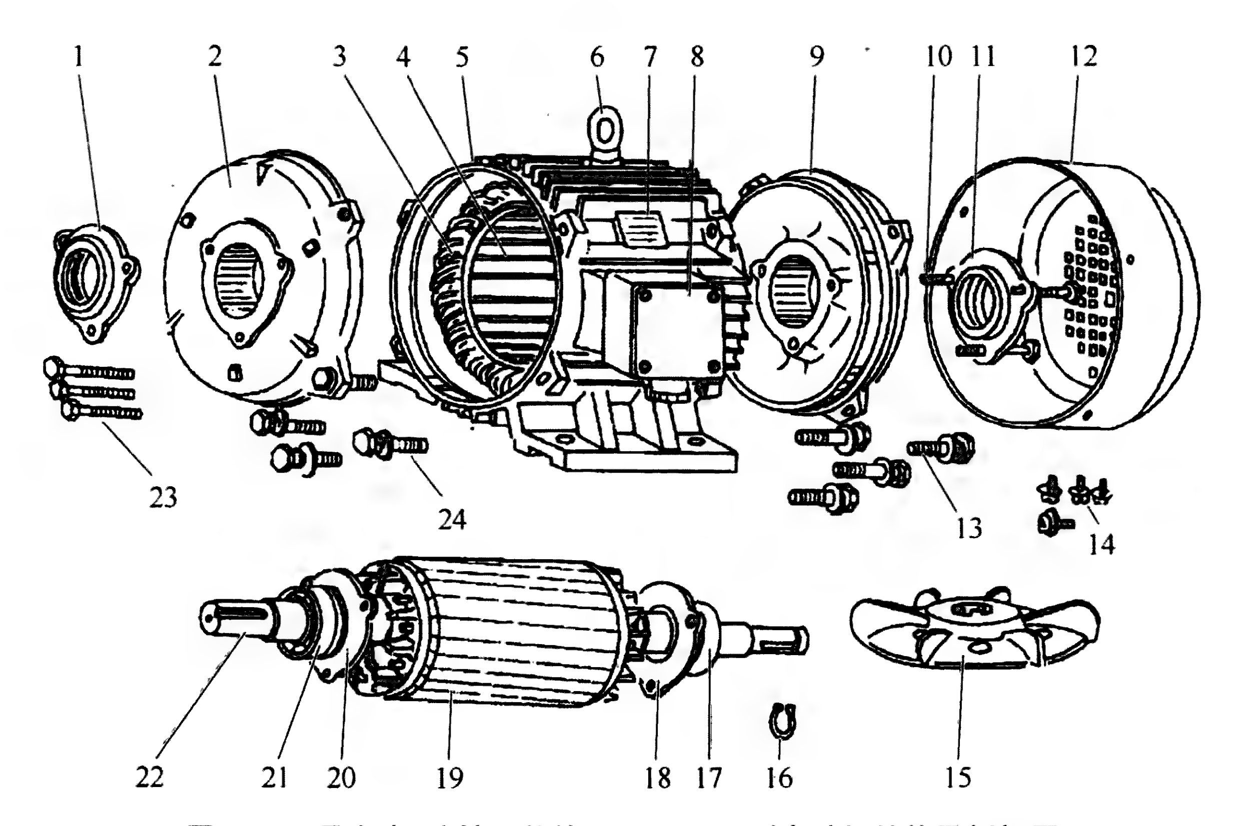


图 2 - 4 具有内、外轴承盖的 IP54、IMB3 型电动机结构及拆解图

1、11—轴承外盖；2、9—端盖；3—定子绕组；4—定子铁心；5—机座；6—吊环；7—铭牌；8—接线盒；10、23—轴承盖螺栓；12—风扇罩；13、24—端盖螺栓；14—风扇罩螺钉；15—外风扇；16—外风扇卡圈；17、21—轴承；18、20—轴承内盖；22—轴；23、24—轴承盖螺栓

2.2 绕线转子三相异步电动机的结构

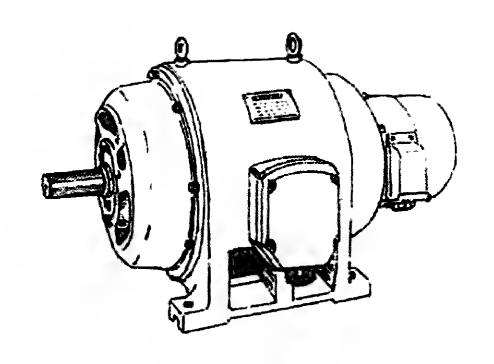
2.2.1 总体结构

和普通笼型转子电动机相比,绕线转子电动机的组成部件主要区别是在其转子部分。

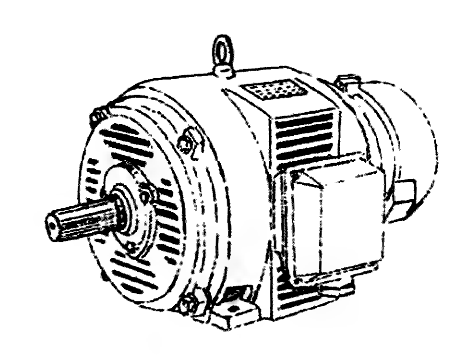
绕线转子电动机的电刷装置分有举刷式和无举刷式两种。图 2 - 5a、b 是常用的两种绕线转子三相异步电动机外形,图 2 - 5c～f 是绕线转子电机整机和定子、转子结构。

2.2.2 无举刷和短路装置的电刷结构

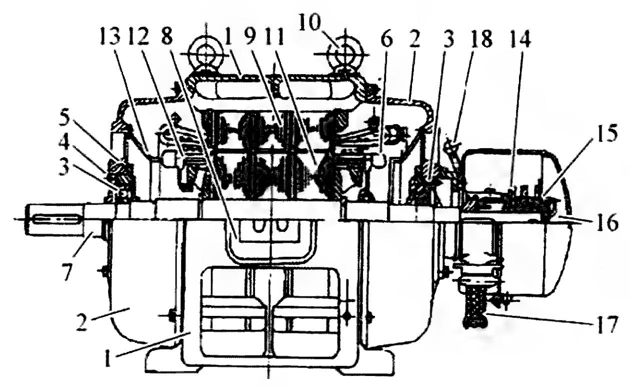
图 2 - 6 为一种无举刷装置的可调压力电刷系统剖面示意图。和有



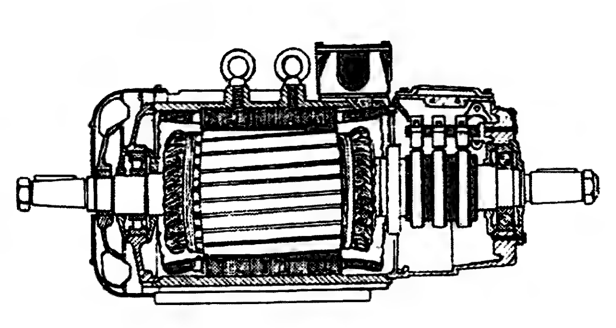
(a) 防护等级IP11



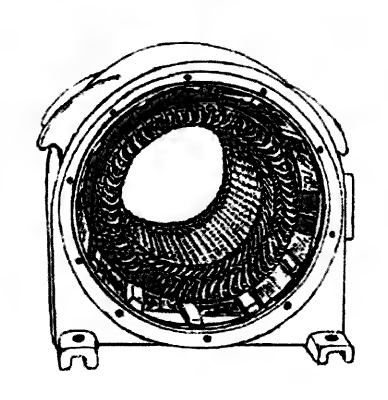
(b) 防护等级IP23



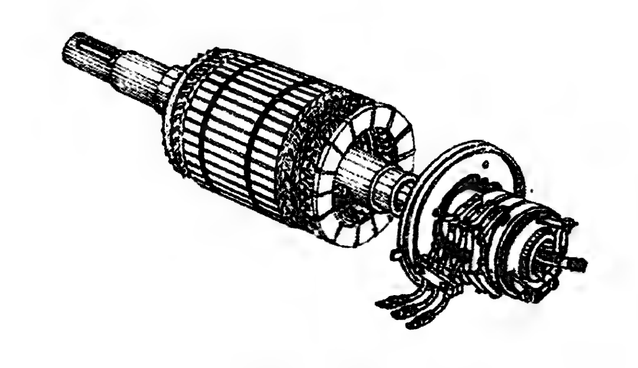
(c) 普通中型绕线转子电动机的结构



(d) 起重冶金用绕线转子电动机的结构



(e) 中型绕线转子电动机的定子成型绕组和机座示例



(f) 绕线转子硬绕组电动机的转子结构示例

图 2-5 绕线转子电机结构示例

1—机座；2—端盖；3—轴承；4—轴承外盖；5—轴承内盖；6—定子绕组；7—轴；8—接线盒；9—定子铁心；10—吊环；11—转子铁心；12—转子绕组；13—挡风罩；14—电刷；15—集电环；16—转子引线；17—引出线；18—举刷手柄

举刷装置的相比，其优点是：① 结构较简单，成本低；② 故障较少，维护方便。缺点是：① 因电刷一直与集电环相摩擦并通电，所以易使电刷和集电环磨损并由此产生一些故障，更换电刷的频次较高使运行成本增加；② 磨出的电刷粉末若进入绕组中，会降低绕组的绝缘水平；③ 集电环、电刷、外接电路会产生一定的电功率损耗；④ 电刷及外接电路出现故障时，将影响正常运行。

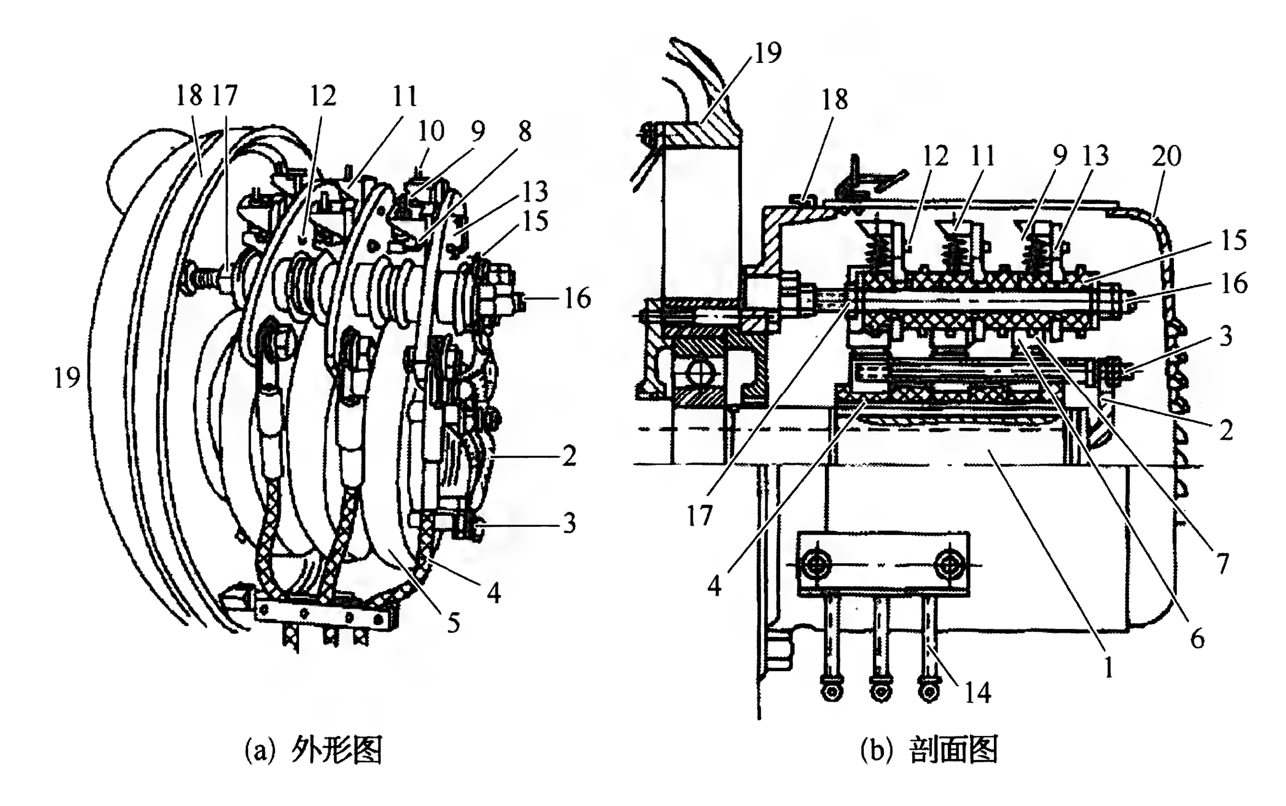


图 2-6　一种无举刷装置的可调压电刷系统剖面示意图

1—转轴；2—转子绕组引出线；3—导电杆和接线螺钉；4—集电环体；5—集电环；6—电刷；7—刷盒(刷握)；8—电刷引线(刷辫)；9—压簧；10—压指；11— 压帽(调压用)；12—刷盒固定螺钉；13—刷架；14—转子外引线；15—隔离刷架用绝缘套管；16—安装螺杆；17—电刷轴向位置调整定位螺钉；18—底盘；19—机壳；20—罩子

2.2.3　举刷和短路装置结构

举刷和短路装置的装配结构如图 2-7a 所示。其所用的集电环和短路环有两种，一种是如 2-7b 所示的采用弹簧触头的结构；另一种是如图 2-7c 和 d 所示的采用刀形触头的结构。

2.2.4　电刷及电刷系统

电刷装置是指包括电刷、刷盒(或称为刷握)、压指及压簧、刷架等组成的系统。

三相绕线转子电动机集电环上有 3 个金属滑环，分别与转子三相绕组相接。因此也就有 3 组电刷与其相配合，从而与外接起动电阻相连。根据转子电流的大小，1 组电刷可由 2～4 个电刷组成，它们由电刷架(一般用镀锌铁板制作)连接成并联关系。

图 2-8 所示是几种常用的电刷。

图 2-9 所示是常见的 4 种刷盒及压簧装置。它们各有各的优点。中小型电动机常用第 1 种。

(a) 整体结构

(b) 弹簧触头结构　(c) 刀形触头结构　(d) 动触头和短路环

图 2-7 举刷和短路装置装配结构图

1—出线盒；2—电缆；3—电刷盒；4—手柄；5—集电环座；6—导键；7—刷杆；8—短路环座；9—触头；10—细毛毡；11—罩；12—集电环；13—键；14—触片；15—固定销；16—轴；17、18—滚子；19—夹叉；20、21—电缆

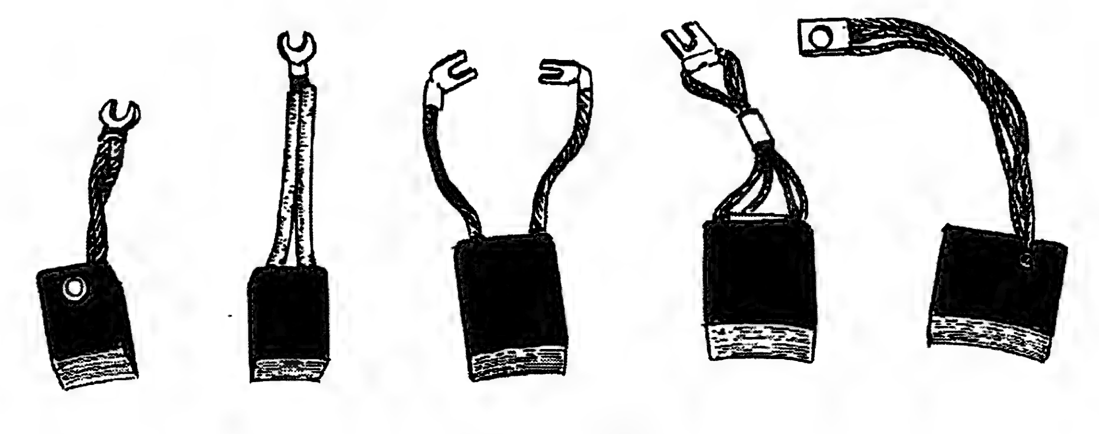


图 2-8 电刷

图 2-9a 所示为可调压簧式电刷装置。它的优点是，可通过人工调节压板 4 的上下位置，来改变压簧对电刷的压力，从而补偿电刷磨短而造成的压力下降。此结构相对简单。

图 2-9b 所示为恒压弹簧式。在电刷磨损过程中，电刷上所承受的压力基本保持不变。

图 2-9c 所示为涡形弹簧式，又称为盘形弹簧式。当电刷磨损，所受

压力有所变化时，它可以自动进行调整。

图 2 - 9d 所示为杠杆拉簧式，左图为正面图，右图为侧面图。由于卡板 7(即为杠杆)与两个弹簧 4 和 9 的共同作用，使电刷在正常磨损范围内，所受压力基本保持在要求的范围内。

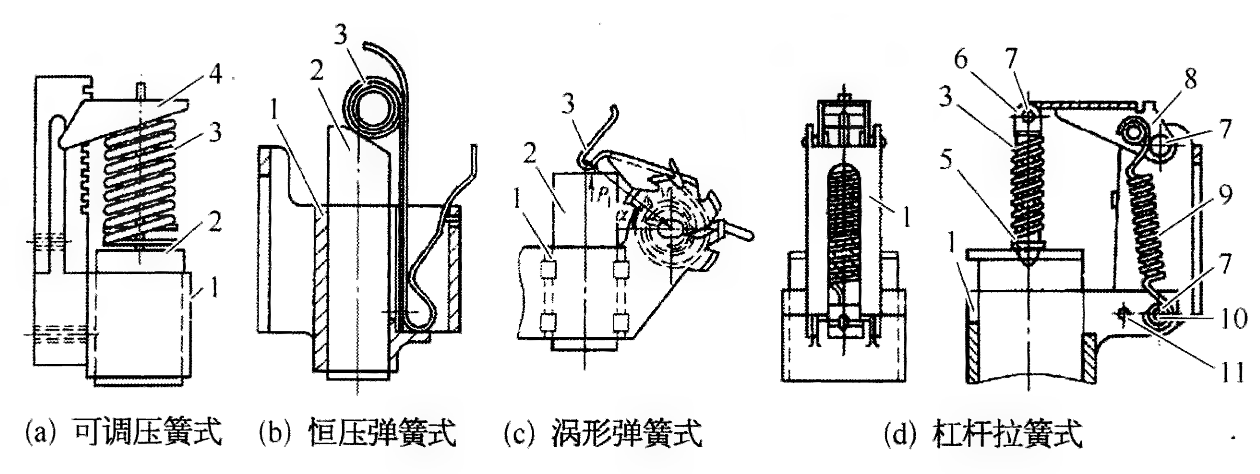


图 2 - 9 四种常用的电刷装置

1—刷盒；2—电刷；3—压簧；4—压板；5—绝缘子；6—铰链；
7—小轴；8—卡板；9—接力弹簧；10—管；11—铆钉

2.2.5 集电环

绕线转子电动机的集电环有塑料压铸式、装配式、螺杆装配式和热套式四种类型，如图 2 - 10 所示。对于中小型电动机，用得最多的是塑料压铸式。

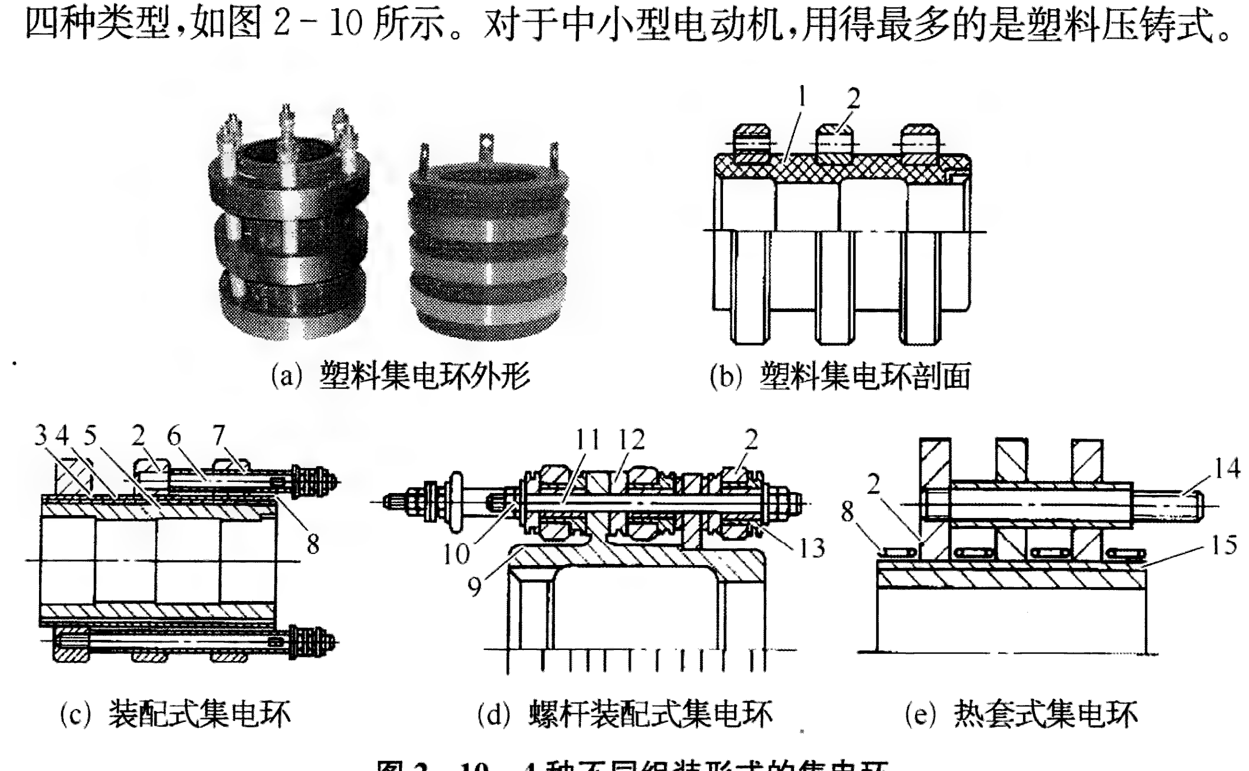


图 2 - 10 4 种不同组装形式的集电环

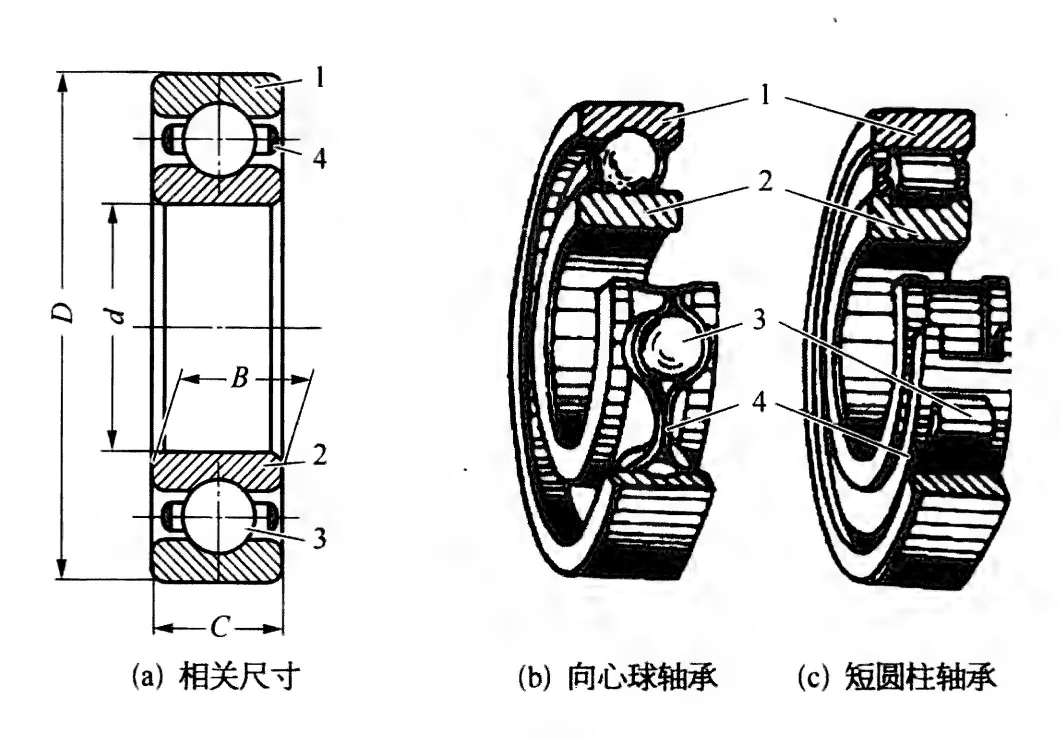
1—压塑料；2—铜环；3—绝缘衬垫；4—衬套；5—套筒；6—导电杆；7—绝缘筒；8—玻璃丝绳；
9—支架；10—螺母；11—螺杆；12—绝缘垫圈；13—绝缘套管；14—引出线；15—绝缘层

2.3 电机用滚动轴承

2.3.1 滚动轴承的组成

1. 基本结构

常用单列向心深沟球轴承和圆柱滚子轴承的基本结构及各部位的名称如图 2 - 11 所示。



(a) 相关尺寸　(b) 向心球轴承　(c) 短圆柱轴承

图 2 - 11　滚动轴承部位名称

1—外圈；2—内圈；3—滚动体；4—保持架

2. 密封装置

很多小型球轴承有各种密封装置，用于封住内部的油脂和防止外面的粉尘进入(所以也称为“防尘盖”)，并分单边或双边两种，用字母和数字标注在规格型号后面，单边的称为 Z 型，双边的称为 2Z 型，常用的有：“- Z”(轴承一面带防尘盖，例如 6210 - Z)；“- 2Z”(轴承两面带防尘盖，例如 6210 - 2Z)；“- RZ”(轴承一面带非接触式骨架橡胶密封圈，例如 6210 - RZ)；“- 2RZ”(轴承两面带非接触式骨架橡胶密封圈，例如 6210 - 2RZ)；“- RS”(轴承一面带接触式骨架橡胶密封圈，例如 6210 - RS)；“- 2RS”等符号(轴承两面带接触式骨架橡胶密封圈，例如 6210 - 2RS)等。如图 2 - 12 所示。

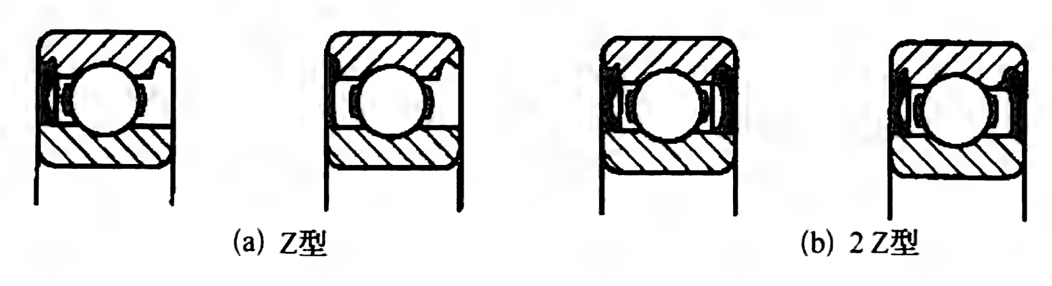


图 2-12　带防尘盖的深沟球轴承示意图

3. 保持架

保持架有用于球轴承的波浪式和柱及圆锥轴承的花篮式等多种形式，如图 2-13 所示。波浪式的材质一般用钢材冲压制成，花篮式的材质则有实体黄铜(符号 M)、实体青铜(符号 Q1 表示铝铁锰青铜，Q2 表示硅铁锌青铜等)、工程塑料(符号 TN1～TN5 分别表示尼龙、聚砜、聚酯亚胺、聚碳酯、聚甲醛)、钢或球墨铸铁(符号 F1～F4 分别表示碳钢、石墨钢、球墨铸铁和粉末冶金)、钢板冲压(符号 J)、铜板冲压(符号 Y)等多种。

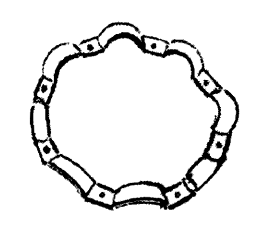
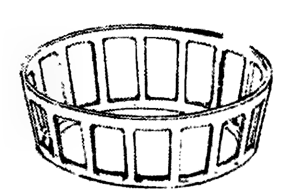
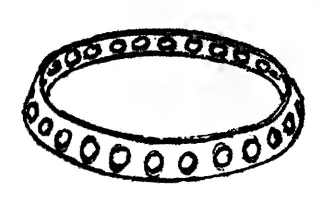
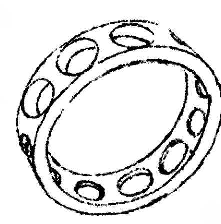
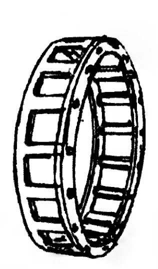






图 2-13　滚动轴承的保持架

2.3.2　滚动轴承规格型号

1. 代码的三个部分名称及包含的内容

国家和行业标准中规定滚动轴承规格型号代码由前置代号、基本代号和后置代号共 3 个部分组成，其排列如表 2-1 所示。由于第 1 部分“前置代号”对于识别整套轴承意义不大，所以下面仅对第 2 和第 3 部分所包含的内容进行简要介绍，并以实例加以说明。

表 2-1　滚动轴承代码的构成

<table>
<tr><td>顺序</td><td>1</td><td colspan="5">2</td><td colspan="8">3</td></tr>
<tr><td rowspan="3">内容</td><td>前置代号</td><td colspan="5">基 本 代 号</td><td colspan="8">后 置 代 号</td></tr>
<tr><td rowspan="2">成套轴承分部件</td><td rowspan="2">结构类型</td><td colspan="2">尺寸系列</td><td rowspan="2">内径</td><td rowspan="2">接触角</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td></tr>
<tr><td>宽/高度系列</td><td>直径系列</td><td>内部结构</td><td>密封与防尘套圈变形</td><td>保持架及其材料</td><td>轴承材料</td><td>公差等级</td><td>游隙</td><td>配置</td><td>其他</td></tr>
</table>

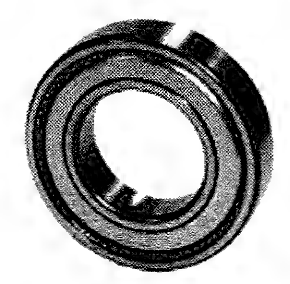
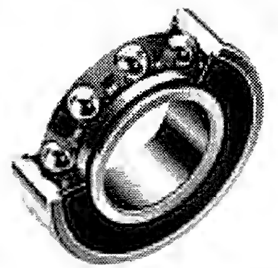
2. 结构类型代号

基本代号中的结构类型代号用数字或字母符号表示，各自所代表的内容见表 2-2。图 2-14 给出了部分电机常用滚动轴承的外形和结构剖面。

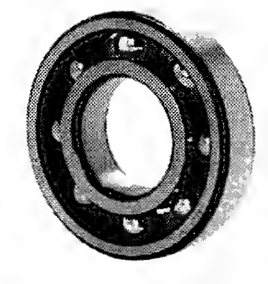
表 2-2 滚动轴承基本代号中轴承类型所用符号

代号	轴承类型	代号	轴承类型	代号	轴承类型
0	双列角接触球轴承	4	双列深沟球轴承	N	圆柱滚子轴承（双列或多列用 NN 表示）
1	调心球轴承	5	推力球轴承		
2	调心滚子和调心推力滚子轴承	6	深沟球轴承	U	外圆面球轴承
		7	角接触球轴承	NU	单列短圆柱轴承
3	圆锥滚子轴承	8	推力圆柱滚子轴承	QJ	四点接触球轴承

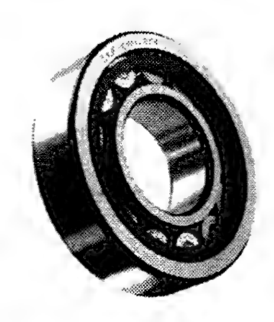
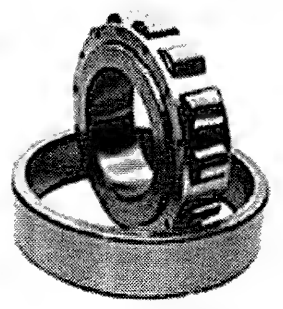
注：在表中代号后或前加字母或数字表示该类轴承中的不同结构。

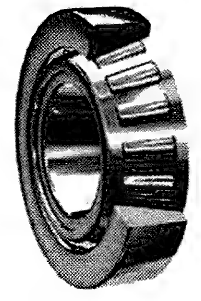
(a) 带密封圈的单列向心深沟球轴承



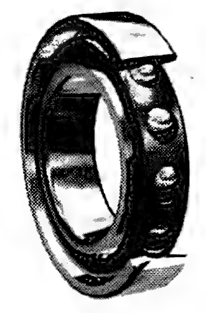

(b) 不带密封圈的单列向心深沟球轴承

(c) 单列（NU系列）圆柱滚子轴承



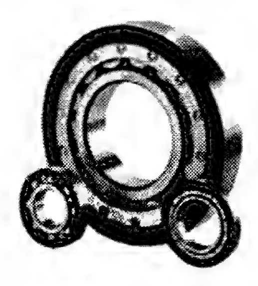
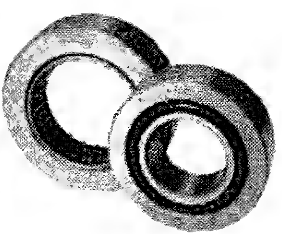

(d) 单列圆锥滚子推力轴承



(e) 单列向心推力球轴承



(f) 单方向推力球轴承

(g) 外圈涂绝缘材料的绝缘轴承

图 2-14 电机常用滚动轴承外形和局部剖面图

3. 尺寸系列代号

滚动轴承基本代号中的尺寸系列代号用两位数字表示，前一位是轴承的宽度（对向心轴承）或高度（对推力轴承）系列代号，后一位是轴承的直径系列代号，例如“23”表示该轴承的宽度系列为 2、直径系列为 3 的向心轴承。如果是 0，则可省略，例如“30”可写为 3，例如 6312 表示宽度系列为 3、直径系列为 0、内径为 12×5＝60 mm 的向心球轴承。

4. 内径尺寸数值代号

滚动轴承的内径数值在其基本代号中的内径尺寸系列代号中表示，放在最后，用一位或两位数字（含第一位是 0 或两位均是 0 的情况，例如 01 和 00），根据尺寸大小的不同，表示方法也有所不同，详见表 2－3，其中 *d* 为轴承内径，单位为 mm。

表 2－3　滚动轴承内径系列代号

<table>
<tr><th colspan="2">公称内径(mm)</th><th>内径系列代号</th><th>示　　例</th></tr>
<tr><td colspan="2">0.6～10(非整数)</td><td>用公称内径毫米数直接表示，在其与尺寸系列代号之间用“/”分开</td><td>深沟球轴承 618/6.5，$d=6.5$ mm</td></tr>
<tr><td colspan="2">1～9(整数)</td><td>用公称内径毫米数直接表示，对深沟球轴承及角接触球轴承 7、8、9 直径系列，内径尺寸系列与尺寸系列代号之间用“/”分开</td><td>深沟球轴承 62 5，618/5
$d=5$ mm</td></tr>
<tr><td rowspan="4">10～17</td><td>10</td><td>00</td><td rowspan="4">深沟球轴承 618 00，$d=10$ mm
深沟球轴承 619 02，$d=15$ mm</td></tr>
<tr><td>12</td><td>01</td></tr>
<tr><td>15</td><td>02</td></tr>
<tr><td>17</td><td>03</td></tr>
<tr><td colspan="2">20～480(22、28、32 除外)</td><td>公称内径毫米数除以 5 的商数，如商数为个位数，需在商数左边加“0”</td><td>推力球轴承 591 20，$d=100$ mm
深沟球轴承 632 08，$d=40$ mm</td></tr>
<tr><td colspan="2">≥500 以及 22、28、32</td><td>用公称内径毫米数直接表示，在其与尺寸系列代号之间用“/”分开</td><td>深沟球轴承 62/22，$d=22$ mm
调心滚子轴 230/500，$d=500$ mm</td></tr>
</table>

注：为了明确，表中轴承内径系列代号的数字加了下划线（例如6.5），实际使用时不带此下划线。

5. 游隙和在其型号中的表示方法

轴承游隙的定义为：一个套圈固定，另一个套圈不受载荷时，沿径向或轴向从一个极限位置到另一个极限位置的移动量。按其移动方向，前者称为径向游隙，后者称为轴向游隙。如图 2－15 所示。

轴承的游隙大小分0、1、2、3、4、5、9共7组，其中后6组在轴承编号中分别用C1、C2、C3、C4、C5和C9来表示。滚动轴承常用的游隙为0、2、3、4、5共5种，其中0组称为“标准游隙”，或称为“基本组”。

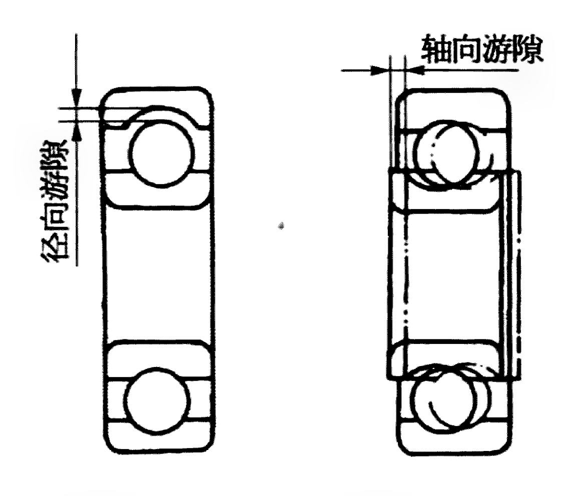


图2-15 向心滚动轴承的游隙

对内、外圈可以分离的圆锥滚子轴承和推力球轴承，无所谓游隙。但将其安装在轴上和轴承座上之后，通过调整两个套圈的轴向相对位置，就可以得到一定的径向和轴向游隙。

在轴承型号中，其径向游隙的代码作为“后置代号”，标注在“基本代号”的后面，并用“/”隔开，例如6312/C3，0组则不标出。

6. 快速记忆常用轴承的代号含义的口诀

可用下述口诀的形式快速记忆常用轴承的代号。应说明的是：由于形式和文字的局限，其中有些不十分全面或表述不十分清晰，请以前面所讲述的内容为准。

(1) 三个组成部分

轴承代号有规定，三个部分来组成。
前置、基本加后置，各自内容都不同。
前置表示分部件，一般轴承不使用；
基本代号为主体，有的只有此部分；
后置代号为辅助，表示内容七八种。

(2) 基本代号之一——结构类型

基本代号要记清，一般包含三内容。
结构类型第一个，电机常用有六种。
圆锥滚子数为3；5为推力球轴承；
深沟向心球为6；7为角接球轴承；
推力圆柱数为8；N为向心柱轴承；
NU单列短圆柱，内圈无挡较常用①。

(3) 基本代号之二——尺寸系列

基本代号第二部，尺寸系列它说明，
数字一位或两位，表明宽高和外径，
宽高系列前一位，若不出现视为0；

直径系列第二位，数大相对大直径。

(4) 基本代号之三——内径尺寸

基本代号第三部，给出数值表内径。
20 以下较复杂，10 至 17 分四等，
03、02 和 01，还有一个是 00，
17、15、12、10，依次排列相对应；
500 以下到 20，内径除 5 相对应，
所除得商一位数，前面加上一个 0。
500 以上用实数，前加斜杠(/)来分清。
23、28 和 32，标写规定与上同②。

(5) 后置代号

后置代号有时有，有无都要搞清楚。
内部结构保持架，密封游隙和精度。

防尘密封符号 Z;RZ 骨架非接触；
骨架接触 RS;双面有 2 单面无③。
游隙使用符号 C,后跟数字表组数，
从 0 到 5 共六种，0 组符号不标出；
其他 C1 到 C5,前加斜杠(/)来分出。

精度等级符号 P,常跟数字 0 至 6，
标出规定同游隙，两者都标 C 不出。

材料代号保持架，一到两个英字母，
黄铜 M 青 Q④；钢铁冶金为 F;
L 为铝 T 酚醛;N 是塑料 V 是无⑤。

说明：①“NU 单列短圆柱，内圈无挡较常用”是说内圈为无挡圈的单列短圆柱结构代号为“NU”,这种结构的滚动轴承在容量略大的电动机中较常用。

②“标写规定与上同”,是指与 500 以上用实数，前加斜杠(/)来分清的方法相同。

③“双面有 2 单面无”,是说双面带密封的在字母前面加一个 2,例如 - 2Z 或- 2RS,而单面带密封的在字母前面不加数字，例如- Z 或- RS。

④“黄铜 M 青 Q”中的“青”是指“青铜”。

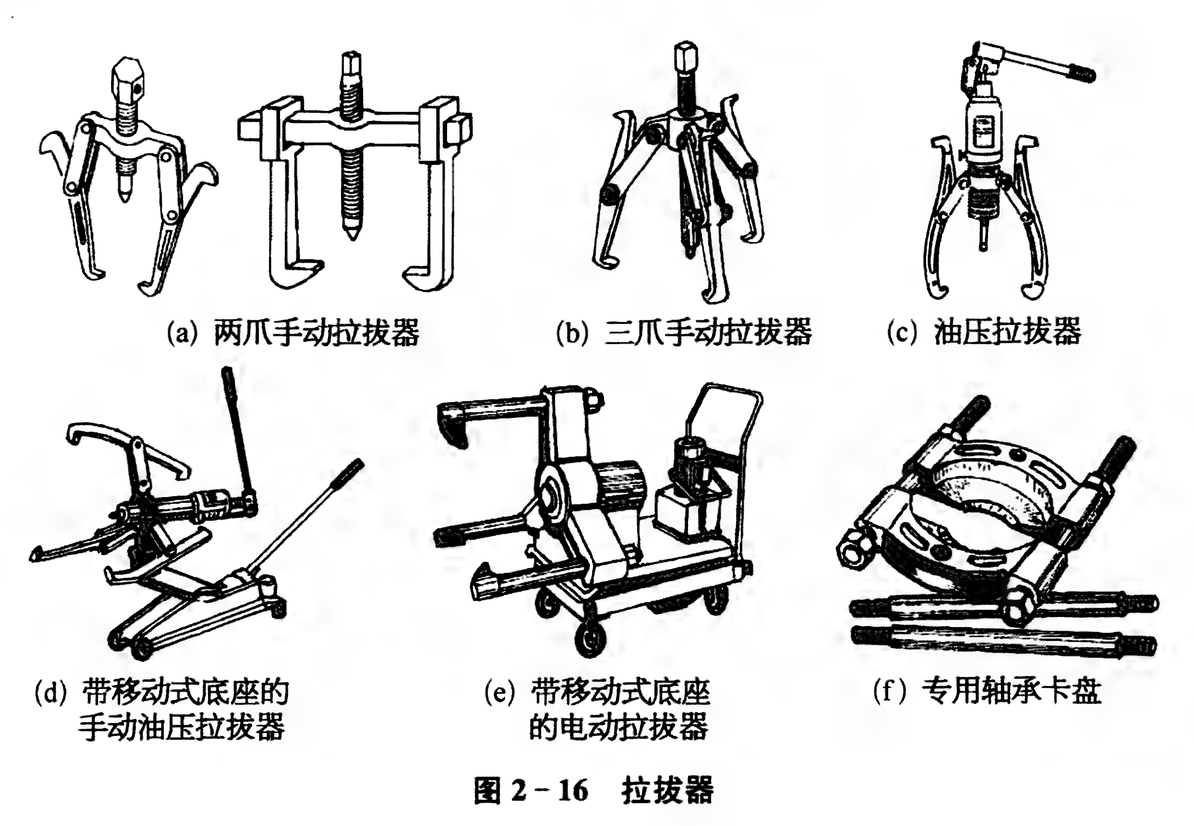
⑤“N 是塑料 V 是无”，是说塑料的用 N 表示，若标出的符号是 V，则表明没有保持架。

2.4　电机拆装常用工具设备

2.4.1　拉拔器

拆卸联轴器和滚动轴承用的拉拔器有手动和液压两大类，另外还可分为两爪、三爪、可换(调)拉爪、一体液压和分体液压等多种，如图 2-16 所示。

安装拉拔器时，轴伸中心孔内应事先涂一些润滑脂，可减少对该孔的磨损；若要拆下的轴承还要使用，则钩子应钩在轴承内环上，可减少对轴承的损坏程度，配用图 2-16f 所示的专用轴承卡盘可保证这一点。使用时，拉拔器要稳住，用力要均匀。当使用很大的力还不能拉动时，则不要再强行用力，以免造成拉拔器螺杆异扣、断爪等损坏。此时可用喷灯或气焊火焰对要拔下的部件外部进行加热，使其膨胀，再用拉拔器往外拉就会容易得多。



(a) 两爪手动拉拔器　(b) 三爪手动拉拔器　(c) 油压拉拔器

(d) 带移动式底座的手动油压拉拔器　(e) 带移动式底座的电动拉拔器　(f) 专用轴承卡盘

图 2-16　拉拔器

2.4.2　喷灯

喷灯用于加热联轴器内孔或轴承内圈，使联轴器内孔或轴承内圈受

热膨胀后，便于从轴上拆下。按使用的燃料来分，有汽油喷灯、煤油喷灯和液化气喷灯三种，如图 2－17 所示。前两种喷灯称为燃油喷灯，其工作压力在 0.25～0.35 MPa 之间，火焰温度在 900℃以上。



(a) 煤油喷灯　(b) 汽油喷灯　(c) 液化气喷灯

图 2－17　喷灯

汽油喷灯和煤油喷灯的使用方法如下：

(1) 使用环境中应无易燃易爆物品(含固体、气体和粉尘)，要防止燃料外漏引起火灾。

(2) 加入的燃油应不超过筒容积的 3/4 为宜(不可使用煤油和汽油混合的燃油!)，即保留一部分空间储存压缩空气，以维持必要的空气压力。

(3) 点火前应事先在其预热燃烧盘(杯)中倒入少许汽油，用火柴点燃，预热火焰喷头。待火焰喷头烧热，预热燃烧盘(杯)中的汽油烧完之前，打气 3～5 次，将放油阀旋松，使阀杆开启，喷出雾状燃油，喷灯即点燃喷火。之后继续打气，至火焰由黄变蓝即可使用。

(4) 应注意气压不可过高，打完气后，应将打气手柄卡牢在泵盖上。

应注意控制火焰的大小，按要求控制加热部位和温度，火焰的前端温度最高。使用过程中，还应注意检查筒中的燃油存量，应不少于筒容积的 1/4。过少将有可能使喷灯过热而出现意外事故。

(5) 如需熄灭喷灯，则应先关闭放油调节阀，待火焰完全熄灭后，再慢慢地松加油口螺栓，放出筒体中的压缩空气。旋松调节开关，完全冷却后再旋松孔盖。

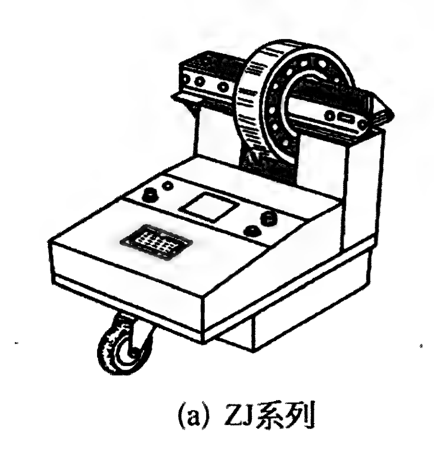
2.4.3 工频加热器

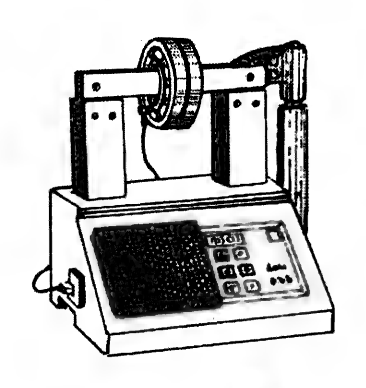
工频加热器是交流工频电源涡流加热器的简称，图 2－18 给出了一

种国产和两种进口类型的工频加热器外形。它具有一个边可打开的口字形铁心和一个套在铁心上与交流电源(电源频率为 50 Hz 或 60 Hz 左右的工频)接通的励磁线圈组成。线圈通电后,在铁心中产生交变的磁场。套在活动铁心臂上的轴承等部件的金属圈将在该磁场的感应下产生感应电流,并在其内部循环流动,即所谓的"涡流"。该电流在轴承等金属圈中产生热量进行加热,使其膨胀。

这种加热器有不同容量的规格,可根据轴承的大小来选择。加热温度的控制,可使用其自带的测温装置,若没有,则可用热电偶或点温计等直接测量,或经过实际测量后,统计达到要求的时间,再用时间来控制,这样会方便一些,但应根据不同的环境温度,给出不同的加热时间。

表 2-4 和表 2-5 分别是 ZJ 系列和 STDC 系列工频加热器的技术参数,供参考选用。


(a) ZJ系列


(b) STDC微电脑系列

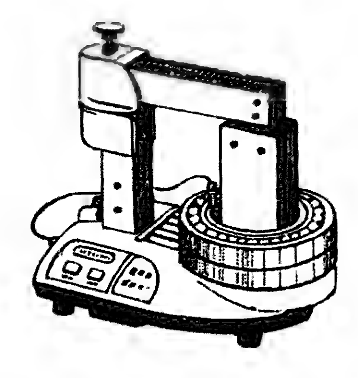

(c) 瑞士森马IH090系列

图 2-18 工频加热器

表 2-4 ZJ 型系列轴承加热器技术参数

型 号	额定功率(kW)	可加热的轴承尺寸(mm)		
		内 径	最大外径	最大宽度
ZJ20X-1	1.5	30～85	280	100
ZJ20X-2	3	90～160	350	150
ZJ20X-3	4	105～250	400	180
ZJ20X-4	5.5	110～360	450	200
ZJ20X-5	7.5	115～400	500	220

表 2-5 STDC 系列轴承加热器技术参数

型号	额定功率(kVA)	电源电压(V)	可加热的轴承尺寸(mm)			外形尺寸 长×宽×高(mm)	其他功能和参数
			内径	最大外径	最大宽度		
STDC-1	1	220	15～100	150	60	32×22.5×27.5	(1) 最高温度为300℃，有温度显示；(2) 有磁性探头；(3) 具有手动和自动时间与温度控制，时间范围为0～99 min，有声音提示；(4) 具有保温功能；(5) 能自动消磁
STDC-2	3.6	220	30～160	340/480	150	34×29×31	
STDC-3	3.6	220	30～160	340/480	150	34×29×38	
STDC-4	8	380	50～250	470/720	200	63×36.5×47	
STDC-5	12	380	70～400	700/1 020	265	95×64×100	
STDC-6	24	380	70～600	700/1 020	265	95×64×100	
STDC-7	12	380	75～400	920	350	120×64×100	
STDC-8	24	380	85～600	900	400	100×50×135	
STDC-9	40	380	85～800	1 400	420	150×60×147	

2.4.4 常用螺钉扳手

1. 常用类型

螺钉扳手用于拆装相关部件的螺钉。有“活口”、“开口”(俗称呆扳手)、“梅花”、“套管”等多种，如图 2-19 和图 2-20 所示。“梅花”和“套管”扳手不易对螺钉造成损伤，应优先选用。



(a) 单头开口扳手　(b) 双头开口扳手　(c) 单头梅花扳手

(d) 双头梅花扳手（眼镜扳手）　(e) 两用扳手　(f) 活口扳手　(g) 手柄可变角度的套管扳手

(h) 多用套管扳手　(i) 内六角扳手　(j) 增力扳手

图 2-19 手动单件螺钉扳手

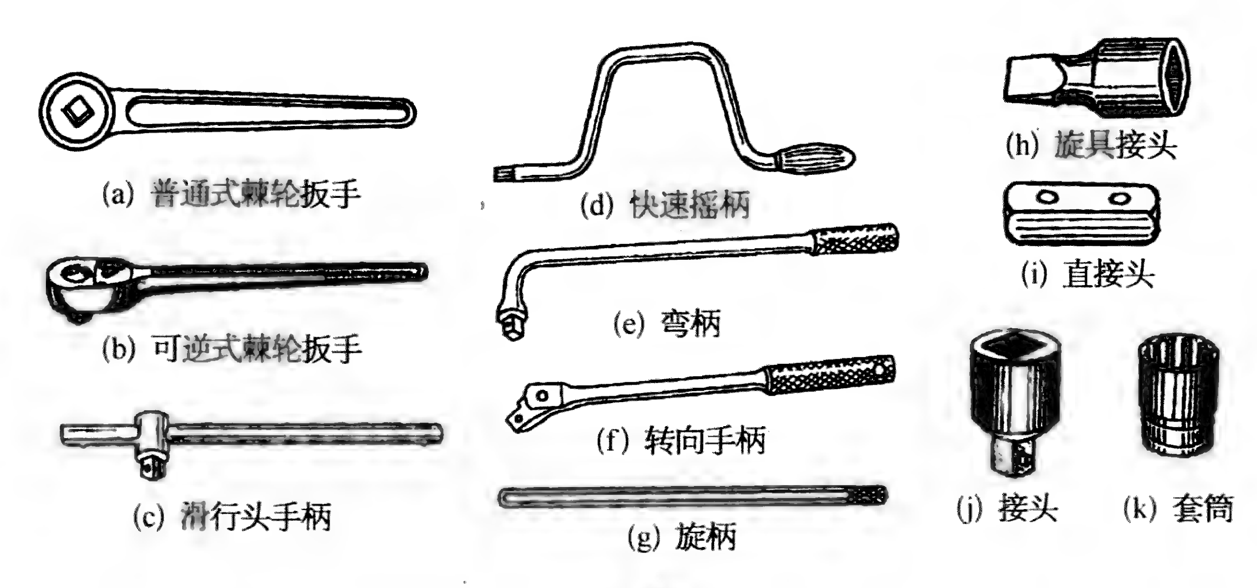


图 2-20 手动螺钉扳手套件

电动或气动扳手在有一定规模的企业也较常用,如图 2-21 所示。



图 2-21 电动和气动螺钉扳手

2. 使用扳手进行连接操作

(1) 选择扳手的开口应与被旋动的螺钉规格相当,应紧密套合。若有较大间隙,则在用力较大时,将会造成螺钉的边角损伤,严重时完全失去边角而不能咬合,即打滑,无法再用扳手拆装,同时影响美观。

(2) 使用活口扳手时,应尽可能使其活扳唇在将要旋转的方向,反之容易损坏蜗杆组件。为了防止开口变大,可用拇指固定调节蜗杆。

(3) 不允许使用套管等加长扳手手柄来增大扳动力矩的方法,因为这样极易造成扳手的损坏。

2.4.5 力矩螺钉扳手

1. 常用类型和规格

在有扭力要求的场合，需要使用可显示扭力的力矩扳手，图 2-22 给出了部分传统的和数显的产品外形。购买时，应根据需要的力矩范围，选择力矩螺钉扳手的最大测量力矩数值，根据被测量螺钉所处位置及附近机械部件的结构状况，选择手柄的长度。常用的力矩范围(单位 N·m)有 0～10、0～20、20～100、80～300、10～500、280～760、750～2 000 等。一般情况下，方榫边长与力矩的关系是：10 N·m 及以下为 6.3 mm；10～300 N·m 为 12.5 mm；300～500 N·m 为 20 mm；超过 500 N·m 为 25 mm。

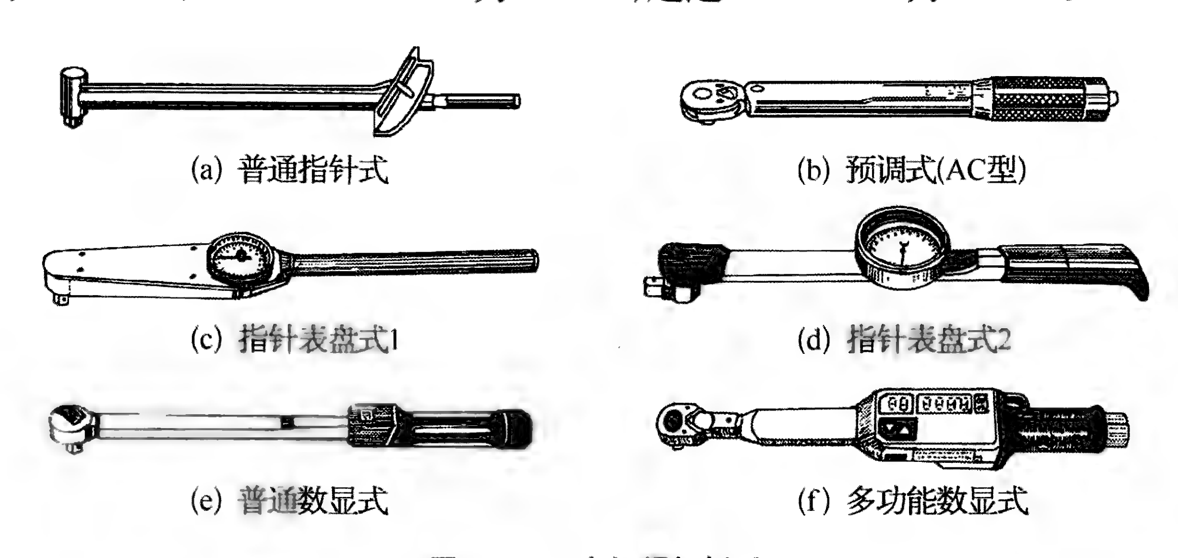

(a) 普通指针式
(b) 预调式(AC型)
(c) 指针表盘式1
(d) 指针表盘式2
(e) 普通数显式
(f) 多功能数显式

图 2-22 力矩螺钉扳手

2. 使用方法和注意事项

(1) 力矩螺钉扳手一般要通过其头端的方榫与螺钉套管联结后旋动螺钉。选用螺钉套管规格应在扳手所适用的范围以内。

(2) 使用时，螺钉的轴线应与扳手的手柄轴线相互垂直。为防止螺钉套管与螺钉或扳手的方榫脱离，旋动是可用一只手抚按在扳手的头端，另一只手扳动手柄。

(3) 严禁在超过力矩螺钉扳手的测量范围使用，否则会损坏其测量系统。

(4) 尽可能不用其作为普通扳手使用，以延长其使用寿命。

2.4.6 螺钉旋具

1. 常用类型

螺钉旋具俗称螺丝刀、解锥或起子，用于拆装相关部件的螺钉。分一

字口和十字口两大类。推拉式快速型螺钉旋具可提高旋转速度 5 倍以上。

可更换旋具头的电动螺钉旋具,其较大幅度地提高了功效,并可旋动带自攻钻头的螺钉,在不用事先在角铁等金属件上打孔的情况下,将螺钉旋入到这些金属件上。

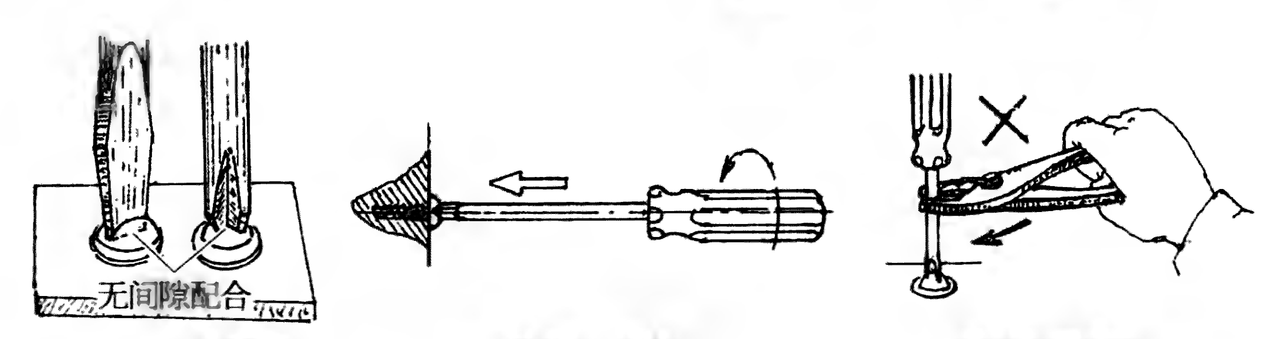
2. 使用螺钉旋具进行联结操作

(1) 要根据螺钉槽口的宽窄和长短,选择适当规格的螺钉旋具,应做到无间隙配合,如图 2-23a 所示。若有间隙,则容易将螺钉槽口或旋具的刀头破坏。

(2) 旋动时,螺钉旋具和被旋动的螺钉应保持一条轴线,在旋动之前应对螺钉施加一定的压力,若是旋入(旋紧),该压力应始终保持不变,若是旋出(旋松),该压力应随着螺钉的旋出逐渐减小,如图 2-23b 所示。

(3) 对用较大的力仍不能旋动的螺钉,不应强行加力旋动,对普通螺钉旋具,不允许使用钳子掐住其旋杆增加旋力(见图 2-23c),以免损坏刀口或螺钉口,给进一步旋动造成更大的难度。正确的方法是,在螺钉上点一些机油或煤油等,等一段时间后再旋动。

若必须使用很大的旋力,应选用旋杆横截面为六边形的螺钉旋具。

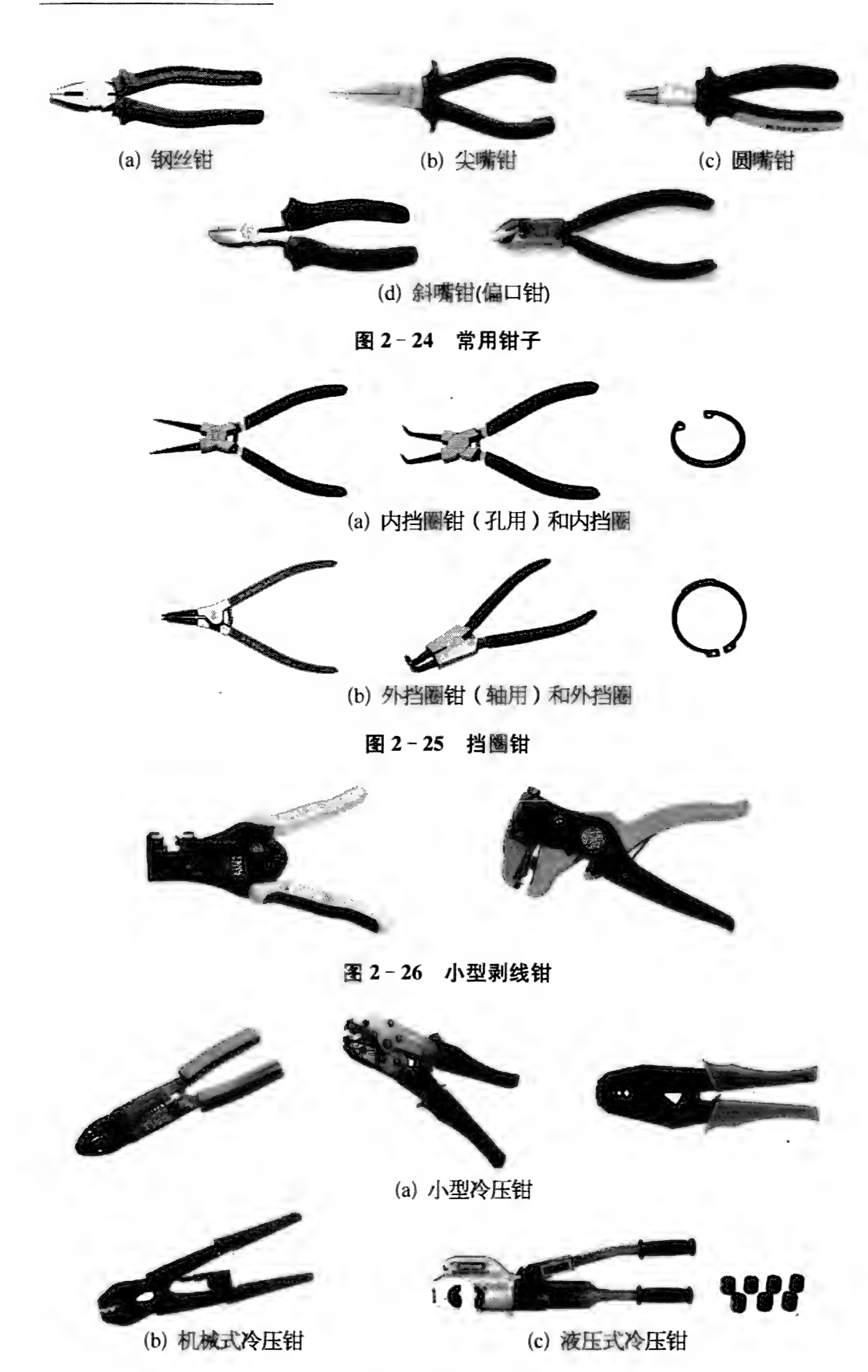


(a) 应做到无间隙配合　(b) 保持一条轴线,施加一定的压力　(c) 错误的增加旋力方法

图 2-23 螺钉旋具的使用方法和注意事项

2.4.7 常用和特殊用途钳子

钳子是以夹持物品为主要功能的工具的总称,其中一部分还具有或主要具有切断细金属丝或薄板的功能,例如钢丝钳、尖嘴钳、偏口钳等,如图 2-24 所示。还有一些具有特殊用途的品种,如图 2-25 所示挡圈钳(或称为卡圈钳)、图 2-26 所示的剥线钳、图 2-27 所示的冷压钳和图 2-28所示的切线钳等。



(a) 钢丝钳　(b) 尖嘴钳　(c) 圆嘴钳

(d) 斜嘴钳(偏口钳)

图 2－24　常用钳子

(a) 内挡圈钳（孔用）和内挡圈

(b) 外挡圈钳（轴用）和外挡圈

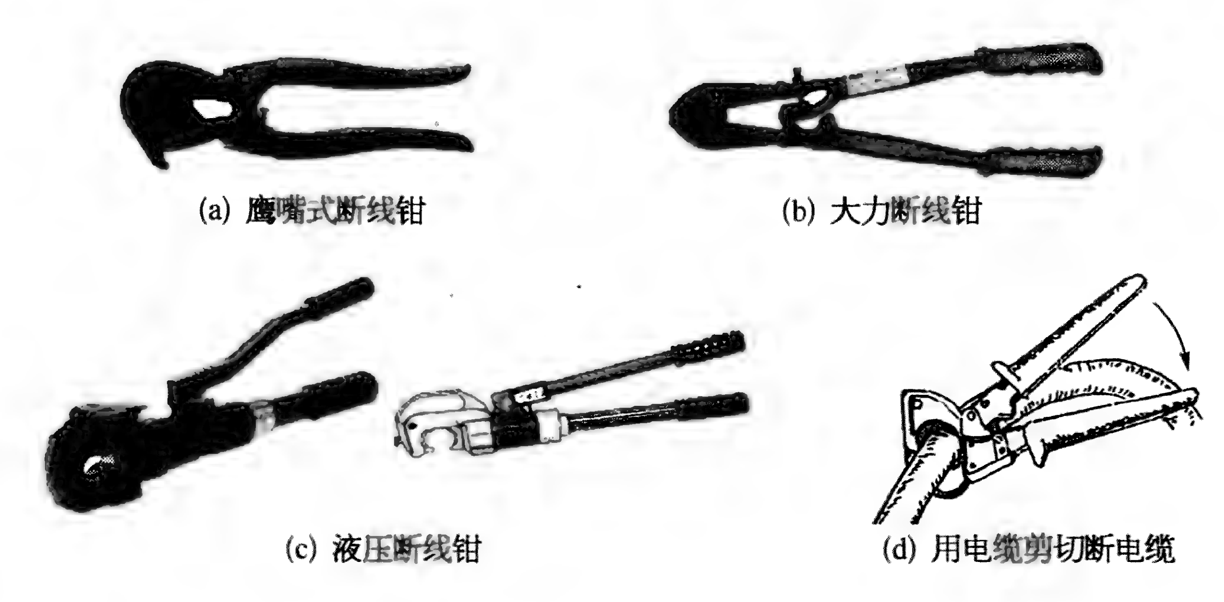
图 2－25　挡圈钳

图 2－26　小型剥线钳

(a) 小型冷压钳

(b) 机械式冷压钳　(c) 液压式冷压钳

图 2－27　冷压钳



(a) 鹰嘴式断线钳 (b) 大力断线钳

(c) 液压断线钳 (d) 用电缆剪切断电缆

图 2-28 切线钳和电缆剪

2.4.8 锤子和榔头

小型锤子和榔头主要用于拆解或安装时敲击部件。锤头有铁质、木质或橡皮(铁心)、尼龙(铁心)等材质的品种,大部分采用木柄,有些采用铁柄。应根据部件材质和易损情况选用。电机组装中,还经常使用用紫铜棒自制的“铜锤”,用于敲击轴承、端盖等部件。

锤头的规格按其重量来分,重量单位用 kg,但日常还习惯用英制单位“磅”,1 磅(lb)=0.453 592 kg≈0.91 市斤。

2.4.9 钢锯

1. 类型和规格

电工用钢锯俗称为手锯,主要用于锯割金属材料,也可用于锯割小块木头、塑料制品等,有时还用于切割电缆和导线。

常见的钢锯架有可调长度和固定长度两种,用钢板或钢管制成。

2. 使用方法和注意事项

(1) 安装锯条时,应使其锯齿方向为向前推进的方向。根据需要,锯面可与锯架平面平行或成 90°角。

(2) 事先将要锯的物品用台虎钳等固定住,有时用一只脚踩住。为防止将圆管材料夹扁,可使用两块开出凹槽的木块垫在圆管的两边,对于很薄的板子,则需要用两块木板将其夹在中间。

(3) 在要锯开的位置画好线。开始锯物品时,用左手的大拇指指甲压在线的左侧,用右手握锯柄,使锯条靠在大拇指旁,锯齿压在线上,锯条

与材料平面成一个适当的角度(例如15°左右)。起锯角度太大时,会被工件棱边卡住锯齿,有可能将锯齿崩裂,并会造成手锯跳动不稳;起锯角度太小时,锯条与工件接触的齿数太多,不易切入工件,还可能偏移锯削位置,而需多次起锯,出现多条锯痕,影响工件表面质量。

轻轻推动锯条,锯出一个小口。反复几次,待锯口达到一定深度后,开始双手控制进行正常锯切。

(4) 锯削钢管时,第一次锯透后,可将管子沿着手锯的推进方向旋转一个较小的角度,再沿原锯缝进行下一次锯削。若管材背离推进方向旋转,锯削时,管壁会卡住锯齿,有可能将锯齿崩裂或使手锯剧烈跳动,使锯削不平稳。

(5) 锯削较薄的板材时,为防止其颤动和变形,可将其用木板夹在台虎钳上。手锯靠近钳口,用斜推的方法进行,使锯条与薄板接触的齿数多一些,以避免钩齿现象的产生。

2.4.10 钻孔工具

1. 钻头

钻头是钻孔的必备工具,就像车床的车刀一样。根据加工的对象,分木工钻头、金属加工钻头和硬质非金属钻头三大类。对于电工,经常用的是第二类和第三类。

常用钻头有普通的麻花钻和硬质合金钢冲击钻,专用的则有扩孔钻、开孔钻(划孔钻)等多种,见表2-6,表中规格范围一栏给出的是普通型或标准型。

表2-6 常用钻头及其主要用途

名称		主要用途	规格(直径)范围(mm)
麻花钻	直柄	钻较小的孔	1.05～3,0.05进级; 3.1～14,0.1进级; 14.25～16,0.25进级; 16.5～20,0.5进级
	锥柄	钻较大的孔	3～14,0.3和0.2交替进级; 14.25～23,0.25进级; 23.25～31.75,0.25进级; 32～50.5,0.5进级; 51～100,1.0进级

（续表）

<table>
<tr><th colspan="2">名称</th><th>主 要 用 途</th><th>规格(直径)范围(mm)</th></tr>
<tr><td rowspan="2">扩孔钻</td><td>直柄</td><td rowspan="2">将较小的孔扩大</td><td>3～10，0.3 和 0.2 交替进级；
10～18，0.75 和 0.25 交替进级；
18.7，19，19.7</td></tr>
<tr><td>锥柄</td><td>1 号锥度：7.8～14；
2 号锥度：14.75～23；
3 号锥度：23.7～31.6；
4 号锥度：32～50</td></tr>
<tr><td rowspan="2">开孔钻</td><td>木工钻</td><td rowspan="2">在薄板上开孔，用于安装指示灯、开关和仪表等元件或作为进出线孔</td><td rowspan="2">13～26，1 进级(无 23)；
26～34，2 进级；
35～60，3 和 2 交替进级；
60～100，5 进级</td></tr>
<tr><td>金属钻</td></tr>
</table>

麻花钻头的柄部，直径在 6 mm 以下的均为圆柱形直柄；直径在 6～13 mm 的有圆柱形或四方形直柄、锥柄（称为莫氏锥柄）三种；直径大于 13 mm 的主要采用锥柄。锥柄的末端有一个扁尾，用于加强转矩的传递，防止钻头在锥孔中打滑，同时也是拆卸钻头的敲击处。

钻头的规格主要用其钻孔直径的大小来表示，一般刻在它的钻柄末端，单位为 mm。

2. 普通手电钻

电钻是所有用电动机作动力的钻孔工具的总称，根据其使用功能，可分为普通型、冲击型（可在水泥和砖结构的墙或地面上钻孔）、两用型等。

普通型手电钻常被称为“手枪钻”，主要用于在各种金属、木头、塑料等硬度相对较小的材料上钻孔。一般具备正反转功能，很多品种还具备调速功能。

所用电动机一般为单相串励电动机，较大功率的有使用三相电动机的品种。有些使用自带充电电池的直流电机，便于在无交流电源的场合使用。选购时，应按要钻的孔径来确定，因为每一种规格的电钻所能支持的最大钻头直径都是有限的，例如较小的为 ϕ12 mm。

3. 台式电钻

台式电钻简称台钻，用较大功率的交流电动机（一般为三相）作为动力，通过传送带（三角带）传动，带动钻头进行钻削加工，可以利用不同转动比的带轮进行调速。由于具有稳定的底座和可调节高度和旋转角度的

机构，有些品种还具有装卡被加工部件的平台，给精准的加工创造了条件，是设备加工和维修车间的必备工具之一。

4. 钻削方法和注意事项

1）检查绝缘情况，确保使用安全

使用手电钻前，应注意检查其绝缘是否良好，可用绝缘电阻表、万用表等测量引出线（插头电极）对外壳的绝缘电阻，应在 20 MΩ 以上；现场使用前，可在接通电源后用验电笔进行检查，确认绝缘良好后方可使用。

为确保安全，应通过漏电保护开关与电源相接，最好使用带地线的三孔插座（电钻需要三极插头），如图 2－29 所示。要经常检查其电源线是否有破损现象，特别是刚引出电钻的部位，比较容易损坏。若有损坏，应作有效处理。

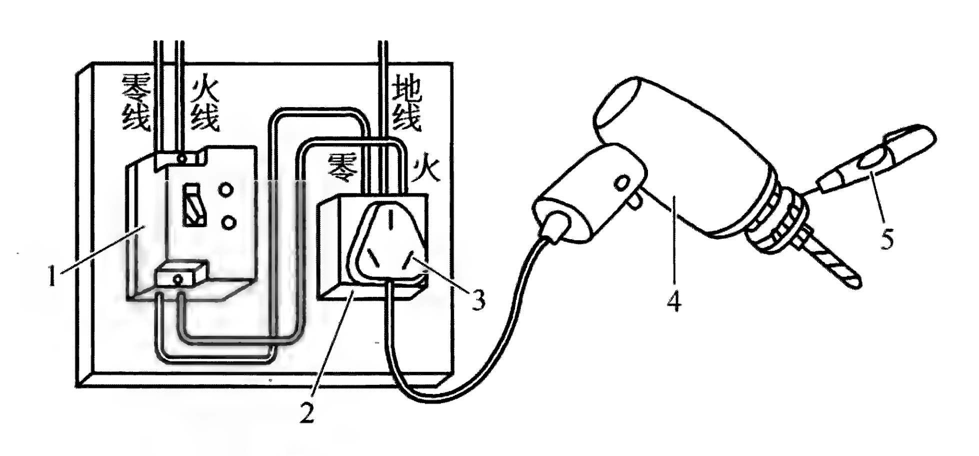


图 2－29　手电钻使用安全要求

1—漏电保护开关；2—带地线的三孔插座；3—三极插头；
4—手电钻；5—验电笔

2）钻削过程和注意事项

（1）按生产安全规程的规定，使用台钻时，操作人员不应戴手套，以避免手套的线毛等被旋转的器件卷住，同时将手臂绞伤；另外，应戴防护眼镜，防止飞起的金属屑崩伤眼球。

（2）使用手电钻时，运转之前，应将钻头轻轻顶在要钻孔的中心点处，然后轻轻按下电源开关，此时电钻的转速会比较低。待钻入一些深度，钻头已经可以定位时，再进一步按紧电源开关，使转速加快。钻削过程中，要时刻注意保持钻头与加工孔的轴线一致并符合要求的方向。

（3）使用台钻时，运转之前，应将钻头轻轻下压，看其是否刚好顶在要钻孔的中心点处，若不是，则应进行调整（调整钻床或工件），直到完全对准为止，抬起钻头。接通电源开始旋转后，下压钻头，当将要接触钻孔

位置时，再一次观察是否对正，若无问题，则以先轻后重的原则下压钻头进行钻削加工。

(4) 钻削过程中，对钻头的压力要适当，应避免压力过大造成钻头过热退火变软甚至烧熔；压力过大还将损坏电动机。要采取措施防止工件移动，对钻头产生径向推拉力，这样很容易造成钻头折断和钻孔变形。

(5) 为防止钻头过热，应控制钻削时间不要过长，对于较大较深的孔，可采用时快时慢的方法，并在钻孔处注入切削液(没有专用的产品时则可用水)进行冷却，同时也起到一定的排屑作用。对于较大功率的冲击钻(电锤)，会自带水冷却装置，同时可以消尘，应给予正确的使用。

(6) 孔将要钻透时，应降低转速或减小对钻头的压力。这样可保证孔的另一端毛刺小、圆滑，并且避免钻头进程突然加速而伤及相邻的物品，这一点对于手电钻操作更为重要。钻孔完成后，应清除边角出现的毛刺。

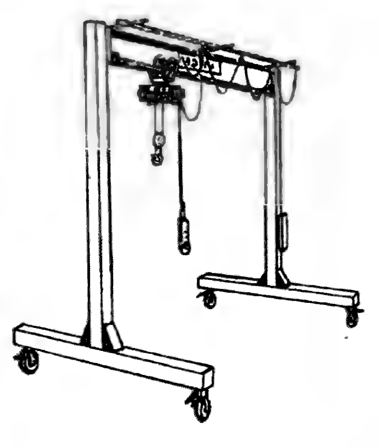
(7) 对使用单相串励电动机的电钻，使用一段时间后，若发现电动机换向器上出现的火花变大，可能是电刷磨短所致。应将其拆下进行检查。剩余长度不足原长的 1/4 时，应更换(商店有售，应注意使用与原用品牌和规格相同的品种)；若是换向器烧损，则应送专业部门修理。

2.4.11 起重吊装器具

用于在拆装过程中起吊比较重的部件和整机。大的修理单位在厂房内安装起吊吨位较大的天车(或称为行车)，较小的单位则使用较小吨位的门形电动或手动吊车、平衡吊、叉车、手动液压升降搬运车和导链等。如图 2-30 所示。



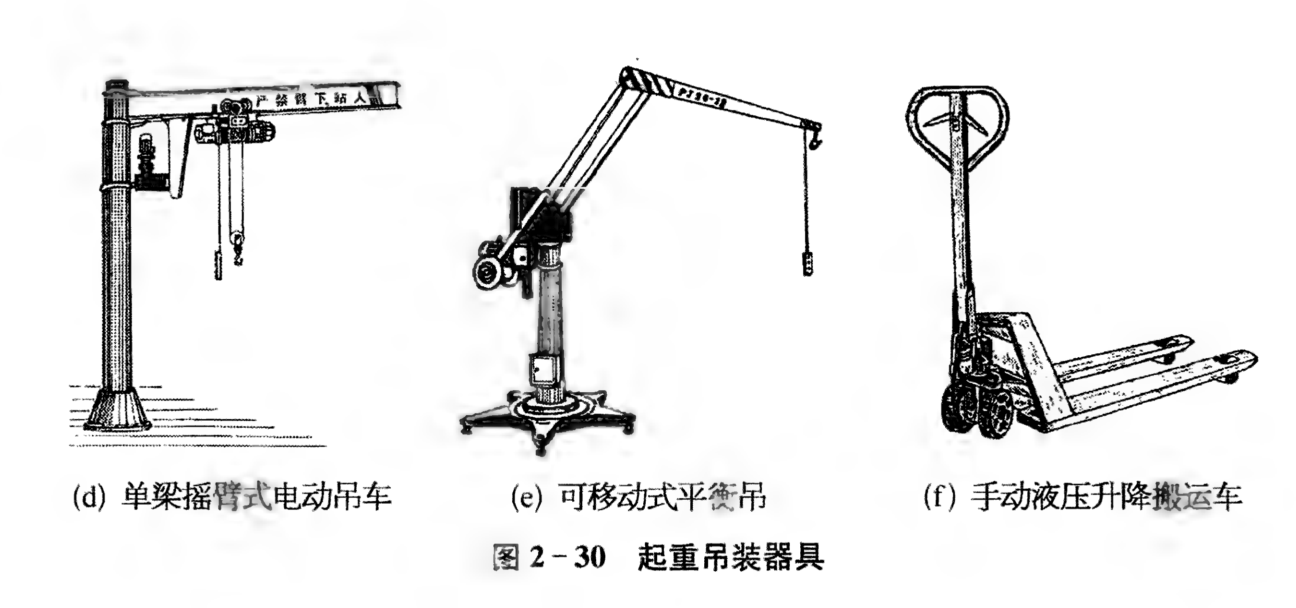
(a) 机动叉车



(b) 门形单梁移动式吊车



(c) 手拉葫芦



(d) 单梁摇臂式电动吊车　　(e) 可移动式平衡吊　　(f) 手动液压升降搬运车

图 2-30　起重吊装器具

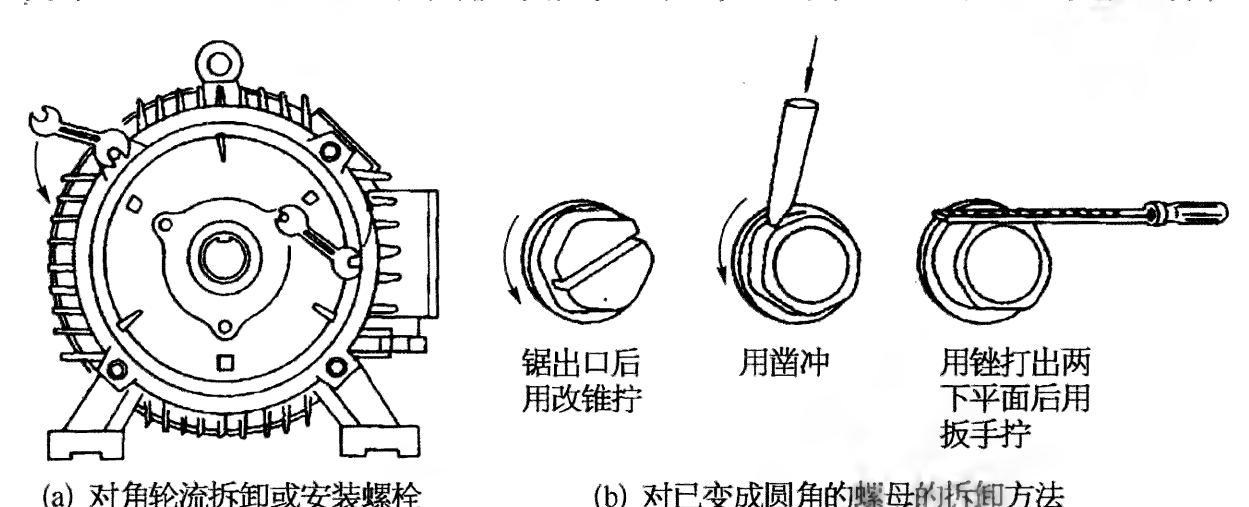
2.5　三相异步电动机的拆解方法

2.5.1　拆解电动机时应注意的事项

(1) 所用工具应合适，特别是螺钉扳手、螺钉旋具等。不合适的工具有可能严重损坏连接件。如螺母、螺帽等，给拆装工作造成较大困难，同时会对工具造成损坏。

(2) 拆卸轴承盖及端盖的安装螺栓时，应先逐一松开少许，并且采用对角轮流进行的方式进行拆卸。这样做的目的是防止因一处螺栓全部拆下后，由于部件的应力等因素造成部件局部变形甚至开裂。装配时，应对角并逐步将各螺栓上紧，如图 2-31a 所示。

(3) 若某个螺钉因生锈而不易拧动时，可先在螺纹处点上一些机油或煤油，过一段时间后再用扳手旋动。严禁强行旋拧，否则会将螺母拧圆



(a) 对角轮流拆卸或安装螺栓　　(b) 对已变成圆角的螺母的拆卸方法

图 2-31　拆解电动机时应注意的事项和解决难拆螺钉的方法

或将螺栓拧断。对已变成圆角的螺母,可采用图 2-31b 所示的方法。

(4) 在转子未抽出的情况下拆下端盖时,应注意防止端盖掉下时砸伤轴伸。对较大较重的端盖,应用吊具吊住。

(5) 必要时应在拆解前对原有配合位置做一些标记,以利于将来组装时恢复原状。

(6) 对拆下的部件要妥善保护,对特殊部件应更加注意(一旦丢失则可能造成整机无法修复)。要特别注意防止各配合面(如止口部位)受到金属或其他硬物磕碰。

(7) 对较复杂的结构,应详细记录拆卸的过程,对部件进行编号。最好用画图或拍照摄像的方法进行记录。

2.5.2 较小普通异步电动机的拆解方法

1. 无前轴承盖电机的拆解过程

机座号为 132 及以下的普通 Y 系列电动机一般不使用前轴承盖;对于后轴承,Y 系列电机采用一个内轴承盖,Y2 系列则采用一只内卡圈(见图 2-1 和图 2-3)。这是由于这些电机均采用双封闭(或称全封闭)轴承,并且端盖轴承室不是全通的,即有一个可在轴向挡轴承的端面,如图 2-32 所示。表 2-7 是其拆解过程及示意图,图中带圆圈的数字(例如①)表示工作顺序,对于一张图中出现的重复数字,表示这些工作可先可后或可采用其中任意一个。

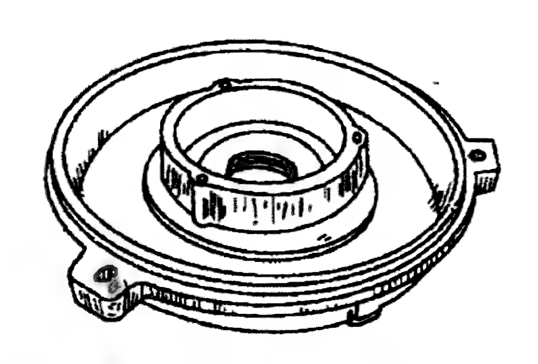


图 2-32 无前轴承盖普通电动机的端盖

表 2-7 无前轴承盖电机的拆解过程

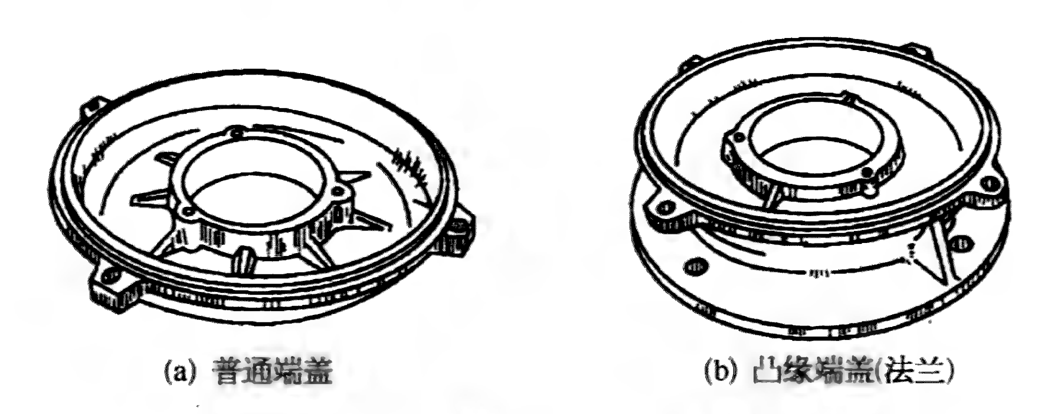
顺序	操作过程和注意事项	操作示意图
1	拆下风罩、后端盖螺钉。用木榔头敲击轴伸端面将转子退出	③ ② ①
2	一手抓住端盖外缘,一手托住转子将其从定子中拉出	④

（续表）

顺序	操作过程和注意事项	操作示意图
3	拆下前端盖螺钉，用木棒抵在端盖边缘或内面，敲击使其与机座脱离	
4	用外卡钳拆下风扇挡圈后，用拉拔器将风扇拆下或用木板等工具撬下	
5	先拆下轴承盖螺钉，用木榔头敲击拆下后端盖（Y 系列），或用内卡钳拆下轴承挡圈后，拆下后端盖（Y2 系列）	

2. 有前后轴承盖的电机的拆解过程

机座号在 160 及以上的 Y 系列电动机和 180 及以上的 Y2 系列电动机，大部分采用不封闭即开启式轴承，并且轴承室是一个通孔（端盖形状见图 2－33），所以一般都需设置前、后、内、外共 4 个轴承盖，如图 2－3 和图 2－4 所示。

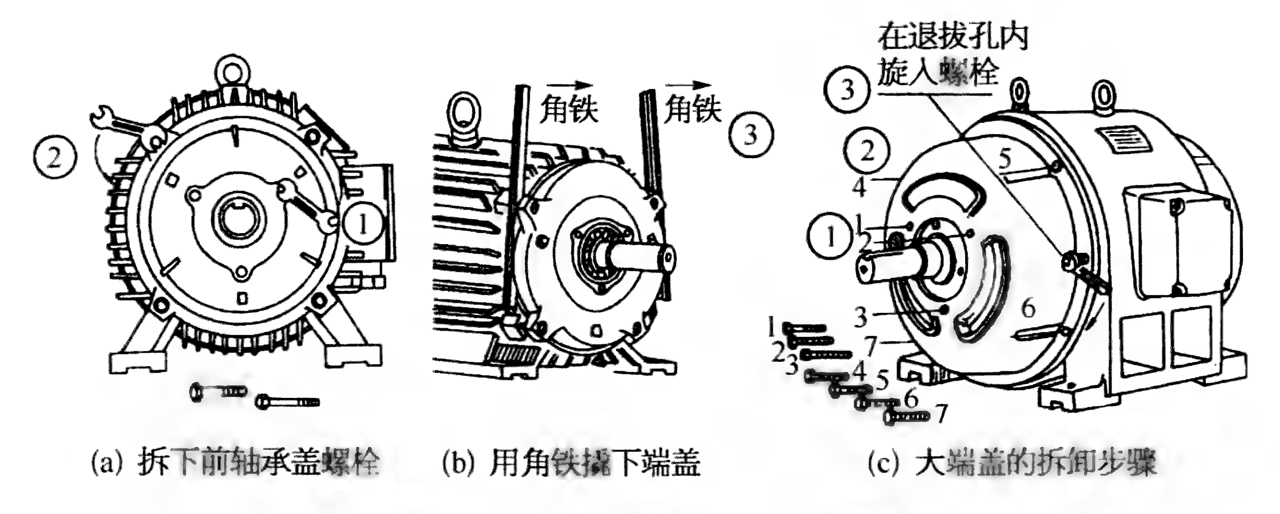


(a) 普通端盖　　(b) 凸缘端盖(法兰)

图 2－33　轴承室为通孔的端盖

这些档次的电机与前面第 1 项所述的不同点在于：只要你想拆出转子，则第一步必须是先拆下前端盖的轴承盖安装螺栓，如图 2－34a 中①。

在拆端盖时，可先用铜棒等顶在端盖安装耳子处，用锤击打，使端盖退出一定的距离后，再插入角铁用力将其撬下，如图 2－34b 所示。应注



(a) 拆下前轴承盖螺栓　(b) 用角铁撬下端盖　(c) 大端盖的拆卸步骤

图 2-34　有前后轴承盖电机的拆解

意防止端盖掉下砸伤电机轴伸。

对于较大的电机，在端盖上设置 2～3 个拆卸用顶丝孔(或称退拔孔)，如图 2-34c 所示。在拆下轴承盖安装螺栓(外圈的 3 个螺栓，见图中标志)和端盖安装螺栓后，将合适的螺栓旋入端盖拆卸顶丝孔中，轮流着旋紧这几个螺栓，至端盖退出机座为止。应注意防止端盖完全退出时掉下砸伤轴，可用纸、废毛毯等将轴伸包裹上。可用吊具将端盖吊住后慢慢地退出。

3. 较大电机的拆解过程

较大电机需借助吊具拆出转子。图 2-35 是借用一种专用吊具退出转子的实况操作图；图 2-36 是借用吊车退出转子的步骤示意图。

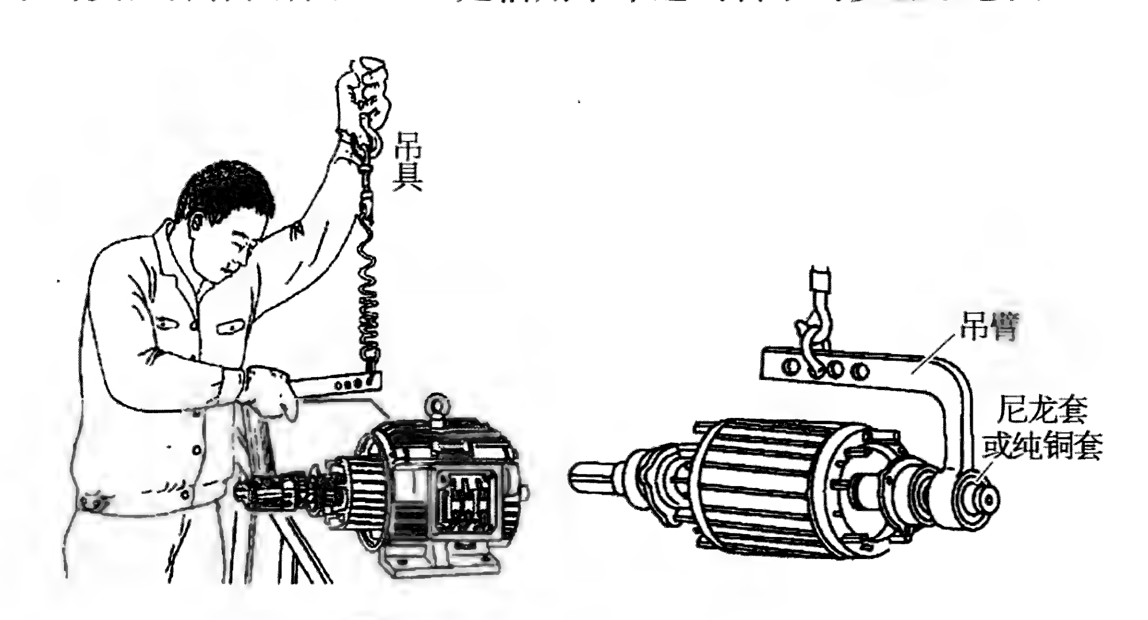


图 2-35　采用专用吊具退出转子

(1) 拆下前后轴承盖和端盖的安装螺钉，用人力推出转子少许后，套上起吊用的绳索。

(2) 用吊车退出整个转子。

(3) 用木头等将轴伸端垫起。操作时,应注意采取适当的措施,防止对定子绕组端部的划伤或磕伤。为此,要求转子在退出定子内膛的过程中,尽可能保持水平方向移动。

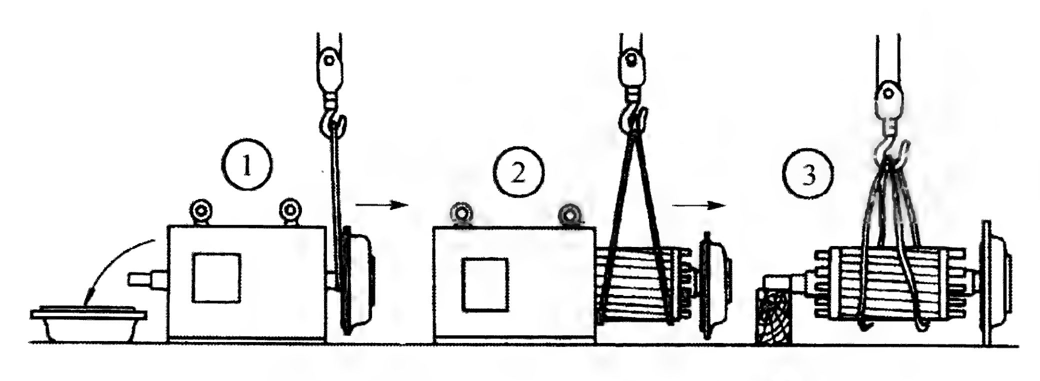


图 2-36 采用吊车退出较大转子的步骤

2.5.3 绕线转子电动机集电环的拆解方法

(1) 拆下集电环罩后,从电刷盒中拿出所有的电刷,从集电环导电杆上拆下转子引出线。

(2) 用外挡圈钳取下安装在轴伸上用于阻挡集电环的挡圈,若使用卡簧,则使用螺钉旋具等工具。

(3) 集电环与轴的配合一般不会太紧,所以比较容易拆下。在没有上述工装器具的现场,可用撬杠撬集电环钢套的内端面将其拆下。

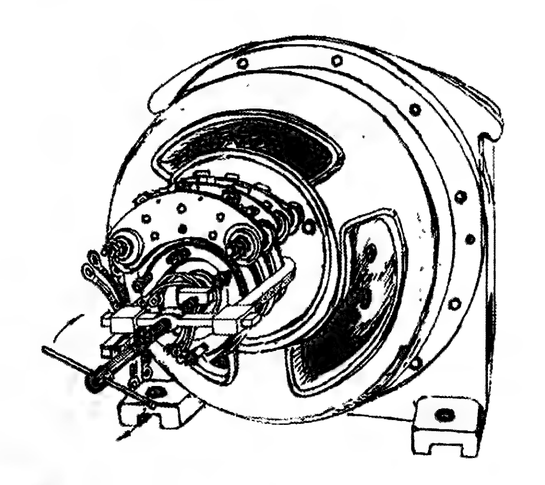


图 2-37 用拉拔器拆卸集电环的方法

用上述方法拆不下时,则使用拉拔器。在转轴端面放一个长度略小于轴端直径的方钢(可使用轴伸键),事先在方钢中心钻一个浅坑。将拉拔器的螺杆顶端顶在方钢中心浅坑中,拉爪钩住最里面的集电环内端面。旋动退拔器的螺杆,将集电环拉出。如图 2-37 所示。

2.6 普通三相异步电动机的装配

2.6.1 较小容量的电动机的装配

对于较小容量的三相异步电动机(Y 系列机座号 132 及以下,Y2 系

列机座号 160 及以下），由于采用双密封轴承，没有轴承盖或只有一个后端内轴承盖，所以组装相对较简单；对于使用开启式轴承，有前后内外轴承盖的电机，与上述较小容量电机相比，只是多出了往轴承中添加润滑脂和安装轴承盖的工作。其过程请参见表 2－8。每张分图中的序号为建议的安装顺序号，其中具有相同序号的则不分先后。

表 2－8 普通三相异步电动机的装配过程

顺序	操作过程和注意事项	操作示意图
1	在轴承内盖凹槽内加上适量的润滑脂	
2	放入前后轴承内盖或轴承挡圈后，用热套或冷压的方法将轴承安装到位	②① ① 轴伸端 ② ① ① ②① ①②
3	对开启式轴承，将轴承滚道内加注规定牌号的润滑脂。加入量应适当	
4	将后端盖安装到位后，用卡钳上轴承内挡圈	轴伸端 注意：在整个圆周上轮换着敲！
5	联结后端盖和轴承内盖	③ 木榔头 ④ 注意：适可而止！
6	用手工穿转子或专用吊具将转子穿入到定子内膛中。注意不要磕伤或划伤定子绕组端部	尼龙套或紫铜套

（续表）

顺序	操作过程和注意事项	操作示意图
7	在轴承室内放好有波形或碟形片状弹簧，装正端盖后，先用木榔头轻轻敲击，使端盖与轴承及机座止口产生一定的配合。将端盖调整到一定位置后，将螺栓旋入机座安装螺孔中。用木榔头沿圆周方向对角轮换着敲击端盖，使其进入机座止口。对角地轮流着将所有螺栓旋紧	
8	用一根轴承盖安装用螺栓（用一根较长的螺柱会更好）旋入一个安装孔中。一只手扶住螺栓并缓慢地按顺时针方向旋转，手感螺栓应能抵到轴承内盖；另一只手使轴朝逆时针方向缓慢转动，用转轴带动轴承内盖在圆周方向移动。当旋动螺栓的手感觉受到阻碍时，则该处可能就是内盖的螺孔。停止轴转动，螺栓仍要旋动，至旋入内盖螺孔，将内盖拉住之后，旋下螺栓（用螺柱时暂不拆下）。将上好油脂的轴承外盖装到轴伸档上，旋入螺栓并旋紧	
9	安装铸铝或铁板外风扇时，最好事先用喷灯等设备对风扇安装孔加热使其膨胀，然后热套在转轴上	
10	安装塑料外风扇及风扇罩。用木榔头敲打将风扇装于电机风扇端轴伸上，用外挡圈将风扇卡住。安装风扇罩，各螺钉应受力均匀	
11	盘动轴伸，观察是否转动灵活	

2.6.2 大容量电动机的装配

对较大电动机的转子,可采用用绳索起吊的装配方法将其装入机座中。根据具体情况,有下述两种装配过程。如图 2-38 所示。

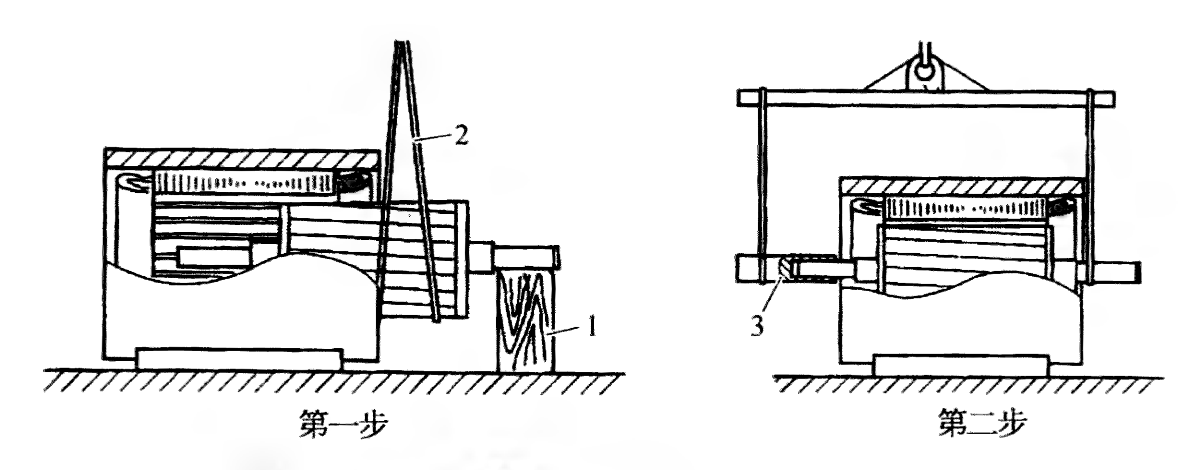


图 2-38 用加长轴伸吊装较大转子装入机座的方法

1-木块;2-尼龙绳;3—接长杆

(1) 用绳索将转子吊起,并基本做到水平。当吊起到轴线与定子轴线相对的位置时,平移转子将其一端伸入到定子内膛中直到不能深入为止。若此时转子轴伸已由另一端探出,则将尼龙绳分开,由转子伸出机座的两端吊起转子少许,保持转子在定子内膛中为悬空状态,再次平移转子,使其到达预定的轴向位置后放下。

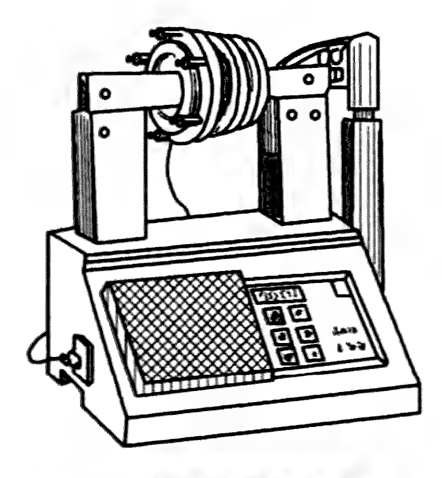
(2) 在按上述方法第一次转子轴伸不能由另一端探出时,第一次吊装之后,先将转子后端用物品垫起到转子保持水平,然后用一根机械强度合适的钢质套管(与轴伸接触的内套应用紫铜或尼龙材料镶嵌,或磨光,以防止对轴伸表面的损伤)套在轴伸上,使其加长伸出机座之外,再用上述方法将转子移到预定的轴向位置后放下。

2.6.3 集电环的安装

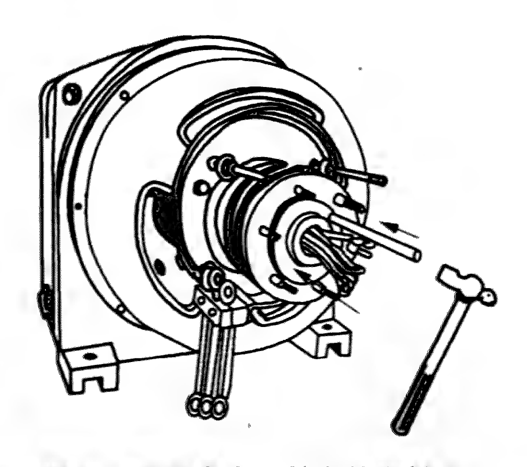
安装集电环时,最好使用将集电环内套加热膨胀后热套的方法,如图 2-39a 所示;若用敲击的“冷装法”,则应注意敲击集电环钢套外端面时,应采用木榔头或紫铜头的榔头,或通过木板等敲击,如图 2-39b 所示。安装后,集电环在轴上不应有任何方向的松动。

2.6.4 电刷系统的安装

(1) 安装上两条电刷支架固定螺栓后,将电刷轴向定位螺母调整到



(a) 用工频加热器加热集电环



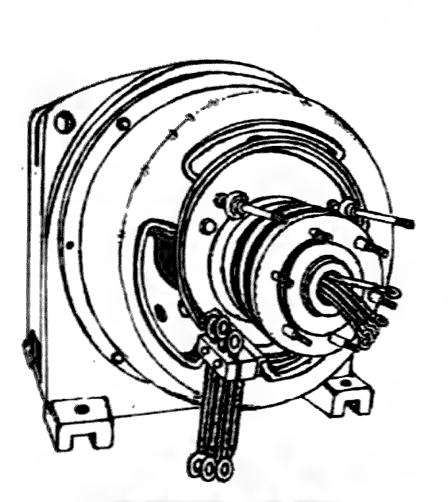
(b) 敲击集电环内套将其安装在轴上

图 2-39 安装集电环

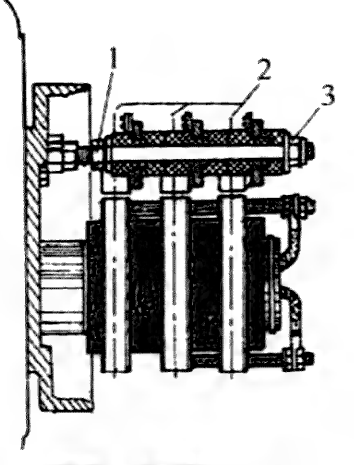
预定位置，依次套入绝缘环和已经安装好电刷盒的电刷架（导电板）。调整定位螺母在螺栓上的位置，使电刷盒中心与集电环轴向中心重合。旋紧最外面的螺母后，再次检查所有电刷盒中心与集电环轴向中心是否重合。若不重合，则重新调整定位螺母。如图 2-40 所示。

(2) 放入电刷，轴线应与集电环外圆工作面垂直（包括径向和轴向），同一相的各电刷应处在一条圆周线上。若有轴向偏离，则调整定位螺母刷架安装螺杆上的前后位置来处理。

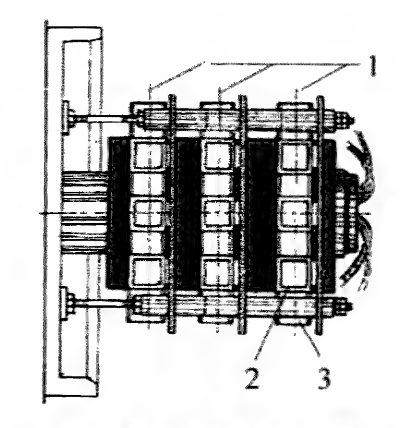
(3) 各部分紧固螺钉不应有松动现象，电刷在电刷盒应活动自由但不晃动，与集电环接触良好。



(a) 安装轴向定位螺钉和第一节绝缘套管



(b) 调节定位螺钉使电刷盒与集电环中心对齐



(c) 调整每排电刷盒均与集电环中心对齐（俯视图）

图 2-40 电刷装置的安装

(b) 1—定位螺母；2—绝缘环；3—压紧螺母

(c) 1—每排电刷盒均与集电环中心对齐；2—电刷盒；3—集电环

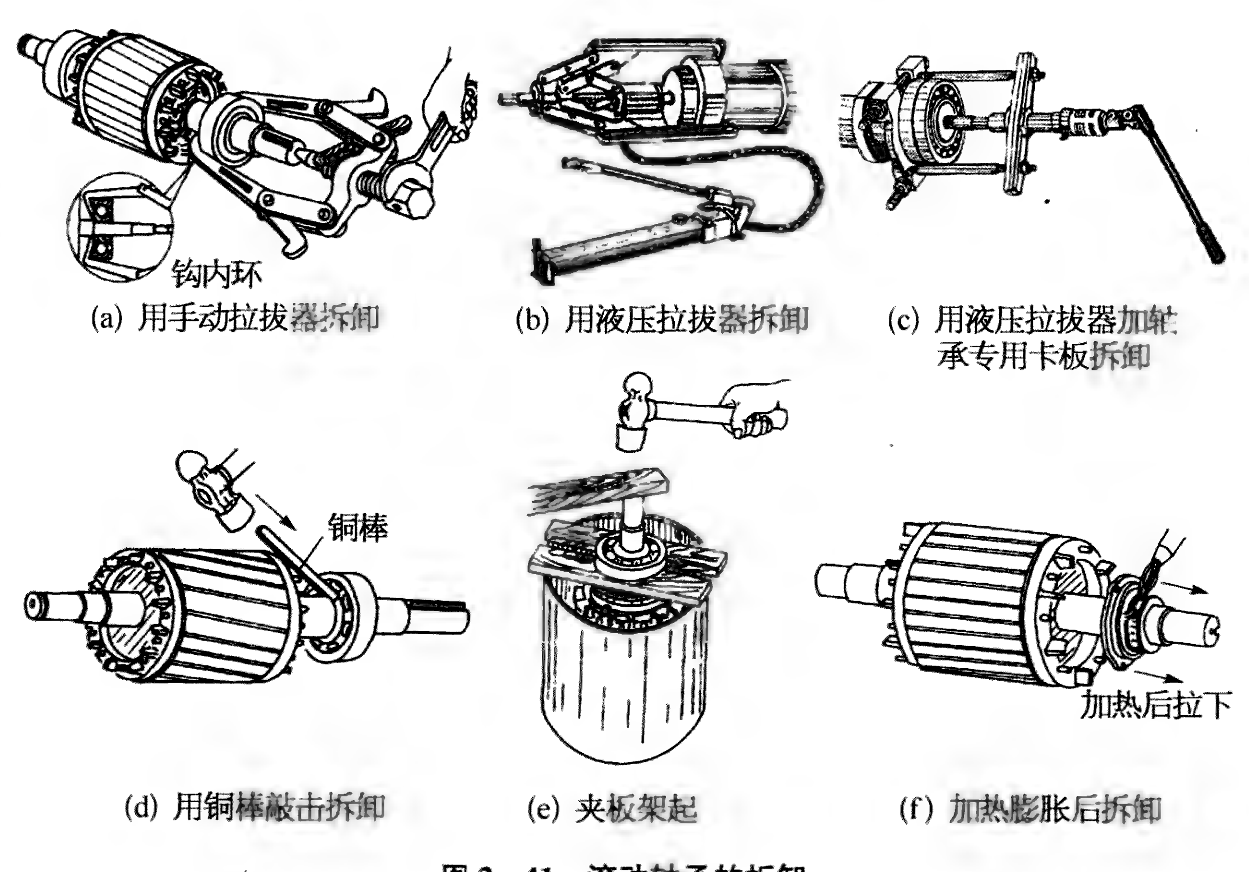
2.7 滚动轴承的拆、装方法

2.7.1 拆卸方法和注意事项

拆卸损坏的轴承是电机维护保养中较常做的一项工作。根据所具有的设备条件，具体操作方法如下。

1. 用拉拔器拆卸

如图 2-41a、b、c 所示。



(a) 用手动拉拔器拆卸　(b) 用液压拉拔器拆卸　(c) 用液压拉拔器加轴承专用卡板拆卸

(d) 用铜棒敲击拆卸　(e) 夹板架起　(f) 加热膨胀后拆卸

图 2-41　滚动轴承的拆卸

2. 用铜棒敲击拆卸

用铜棒抵在轴承内环处，用锤子击打铜棒。抵在轴承内环上的点应在其圆周上布置 4 个以上。如图 2-41d 所示。

3. 夹板架起敲击拆卸

将转子放入一个深度合适的桶中或支架下，将要拆下的轴承用两块结实的木板夹住并托起。为避免转子突然掉下时墩伤下端轴头，应在下面放一块木板或厚纸板、胶皮等。用木板垫在上端轴端，用锤子击打至轴承拆下。在轴承已松动后，应用手扶住转子，防止偏倒造成磕伤。如图 2-41e 所示。

4. 加热膨胀后拆卸

当轴承已损坏，用上述方法又难以拆下时，可先打掉轴承滚子支架，去掉外圈，再用气焊或喷灯加热轴承内圈，加热到一定程度后，借助轴承内盖则可轻松地将其拆下。如图 5 - 41f 所示。

2.7.2　装配前的清洗和质量检查

1. 清洗滚动轴承和加润滑脂

为了防锈，开启式轴承在出厂之前涂有一层防锈油，这种油脂有的可和将要加入的润滑脂相溶，所以可直接使用。否则，在装配前应进行严格地清洗，对拆下的旧轴承，若还可使用，也应进行彻底清洗。

清洗轴承的清洗溶剂，有溶剂汽油（常用的有 120 号、160 号和 200 号）、三氯乙烯专用清洗剂（工业用，加入 0.1%～0.2%稳定剂，如二乙胺、三乙胺、吡啶、四氢呋喃等）等。整个过程中应注意做好防火和防毒工作，为了防止溶剂对皮肤的损伤，应戴胶皮或塑料手套操作。其步骤为：

（1）用竹签或木签将轴承中的废油脂刮出。

（2）用洁净不脱毛的布巾将轴承中的防锈油擦干净。

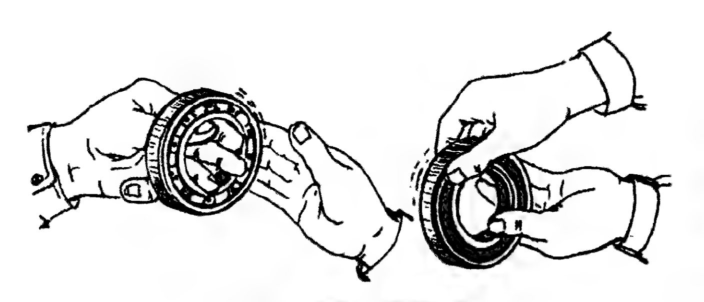
（3）将轴承投入清洗溶剂中泡一定时间。

（4）用毛刷刷洗，然后用干净的清洗溶剂再刷洗一到两次。

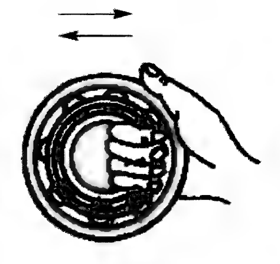
（5）用不脱毛的布巾擦干后晾干。

2. 通过感官进行简单质量检查

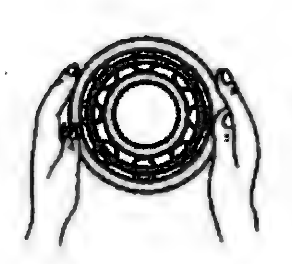
轴承在装配之前，可通过感官进行简单检查。首先要检查其生产日期，计算已存放的时间，该时间应在规定的期限之内（例如两年），超过规定期限的不应使用或经过必要的处理后方可使用，然后逐个地进行外观检查，不应有破损、锈蚀等现象，对内外圈组合为一体的轴承（例如深沟向心球轴承，俗称“死套轴承”），还应检查其运转的灵活性，如图 2 - 42a 所



(a) 拨动外圈检查转动灵活性



(b) 前后晃动检查游隙大小



(c) 双手托起晃动检查游隙大小

图 2 - 42　装配滚动轴承前的检查

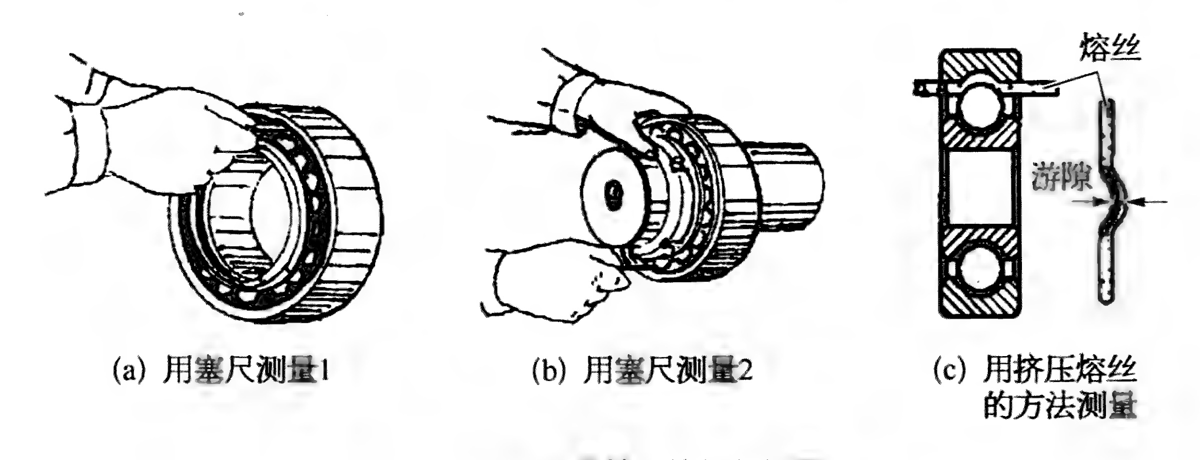
示。有必要时还应进行径向游隙大小的检查。在组装现场，可用手感法简单地检查轴承游隙是否合适。手握轴承前后晃动，不应有较大的撞击声，如图 2-42b 所示；或用两手如图 2-42c 所示托起轴承，上、下、左、右晃动，不应有明显的撞击声。

3. 径向游隙的简易测量方法

（1）用塞尺测量的方法。用塞尺插入到滚子和外圈之间，如图 2-43a、b 所示。稍用力能插入时，所用塞尺的厚度即为该位置的径向游隙。应转动轴承内圈，在一个圆周上均匀地测量 3 个点，取平均值作为测量结果。

（2）用挤压熔丝的方法。将一段熔断器用熔丝（俗称保险丝）插入两个钢珠的空隙中并用手拿住，固定轴承内圈，转动外圈，使熔丝挤压入外圈与钢珠之间，挤压之后，取出熔丝，用外径千分尺测量挤压部分的厚度尺寸，即该轴承的径向游隙尺寸。如图 2-43c 所示。由于熔丝被挤压部位在退出后有可能出现一定量的“反弹”，致使测量值会略大于实际游隙值。

附录 1 给出了深沟球轴承的径向游隙标准值，可供检查时判定参考。



(a) 用塞尺测量1　(b) 用塞尺测量2　(c) 用挤压熔丝的方法测量

图 2-43　测量轴承的径向间隙

4. 电机常用滚动轴承型号对比及 Y 系列电机用轴承的规格

我国和国外主要轴承生产厂生产的电机常用滚动轴承型号对比（内径 10 mm 及以上），Y（IP44）系列三相异步电动机现用和曾用轴承牌号，Y2（IP54）系列三相异步电动机现用和曾用轴承牌号，分别见附录 2、附录 3 和附录 4。

2.7.3　装配方法和注意事项

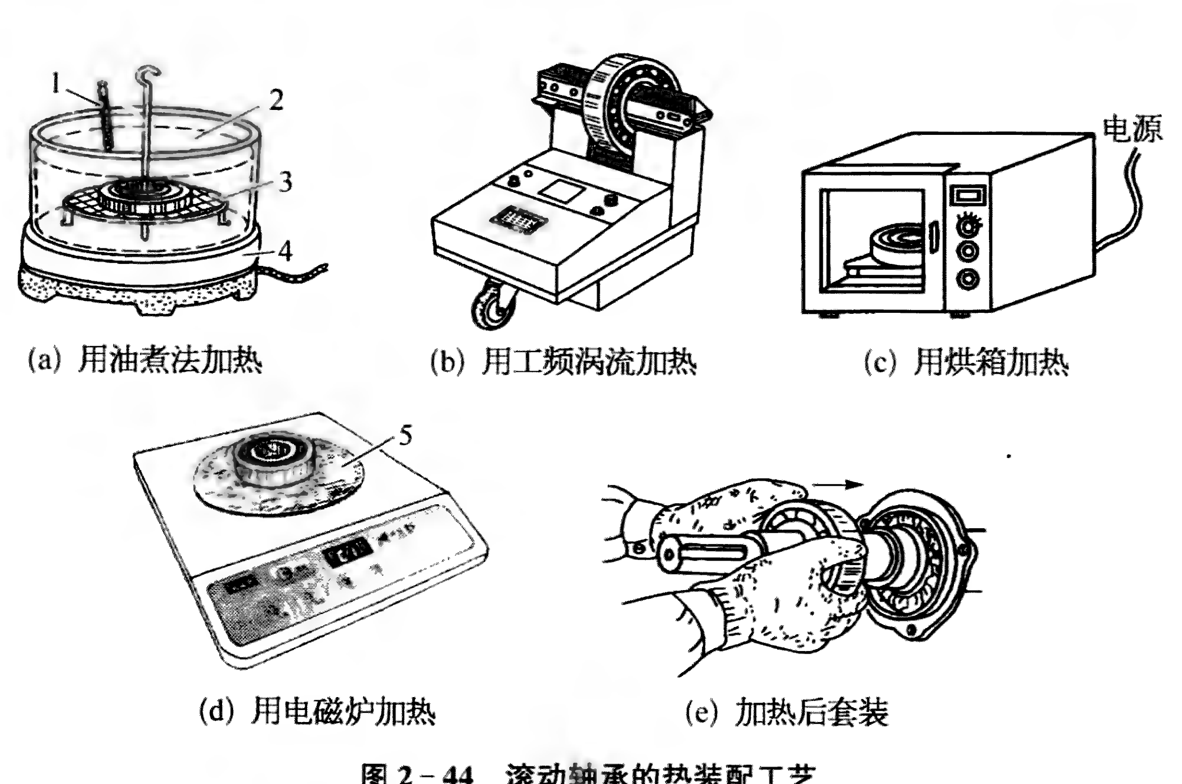
1. 热装配法

通过对轴承加热，使其内圈内径膨胀变大后，套到转轴的轴承档处。冷却后内圈缩小，从而与轴形成紧密的配合。轴承加热温度应控制在

80～100℃，加热时间视轴承的大小而定，常用的加热方法有如下4种。

1）油煮法

将轴承放在变压器油中的网架上，如图2-44a所示。加热变压器油，到预定时间后捞出，用干净不脱毛的布巾将其油迹和附着物擦干净后，尽快套到轴上。



(a) 用油煮法加热　(b) 用工频涡流加热　(c) 用烘箱加热

(d) 用电磁炉加热　(e) 加热后套装

图2-44　滚动轴承的热装配工艺

1—温度计；2—变压器油；3—铁丝网；4—电炉；5—铁板

2）工频涡流加热法

将轴承套在工频加热器的动铁心上后，接通加热器的工频交流电源。轴承会因电磁感应而在内、外圈中产生涡流（电流），从而产生热量使其膨胀。如图2-44b所示。这种加热方法可能会使轴承产生剩磁，严重时会在电机通电运行时因电磁感应在轴承中产生较大的电流，使轴承温升增大。所以，在有必要时，应进行退磁处理。

3）烘箱加热法

将轴承放入专用的烘箱内加热。如图2-44c所示。

4）电磁炉加热法

在无上述加热设备的修理现场，可将轴承放在电磁炉上加热，比较适用于较小的轴承。所用电磁炉有专业厂生产的产品，也可使用家庭做饭使用的普通电磁炉。应将轴承放在一块铁板上（或电磁炉平底锅等，将轴承直接放在电磁炉上可能不会加热，此时电磁炉屏幕可能显示“E1”——

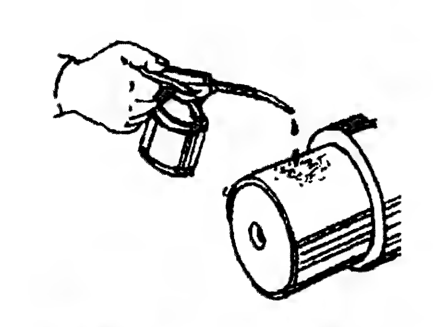
无加热器件)。在操作中应注意控制好温度,例如选择最低温度一档 C1。如图 2-44d 所示。

加热到适当时间后,尽快将其套在轴上轴承档的预定位置。操作时要戴干净的手套,防止烫伤或脱手后砸脚。如图 2-44e 所示。

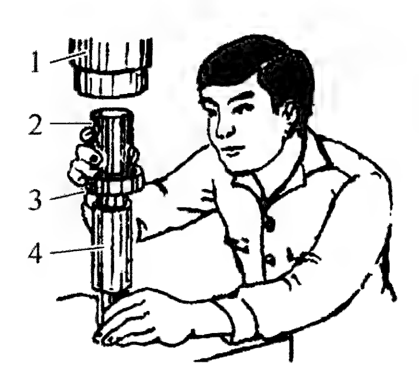
2. 冷装配法

所用轴承保持常温状态,采用在轴承内圈端面施加压力的方法将其套到转轴轴承档部位的工艺称为冷装工艺。

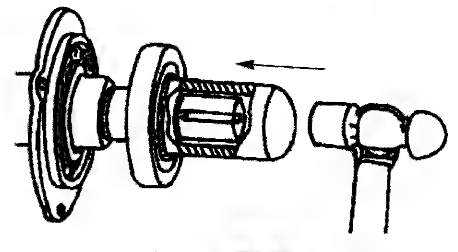
装配前,在轴的轴承档部位上一些润滑油,会对顺利装配有所帮助。如图 2-45a 所示。



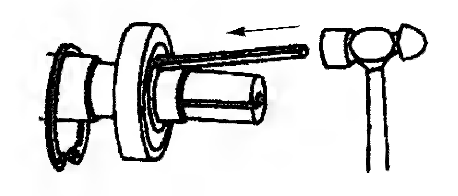
(a) 在轴的轴承档加少量机油



(b) 用油压力机装配



(c) 用专用套筒敲击装配



(d) 用铜棒敲击装配

图 2-45　滚动轴承的冷装配工艺

1—油压机;2—套筒;3—轴承;4—轴

使用油压机进行装配时,应设置位置传感器或开关、过压力传感器等装置,以确保压装到位,并且到位后压力就会撤销,以防止再加更大的压力将轴承或轴损伤。图 2-45b 所示为使用立式油压机进行操作,轴承上面放置的是一个专用的金属套筒。

用一个内径合适的专用金属套筒抵在轴承内圈上,用榔头击打套筒顶部将轴承推到预定位置,敲击时应注意力的方向要始终保持与电机轴线重合。如图 2-45c 所示。

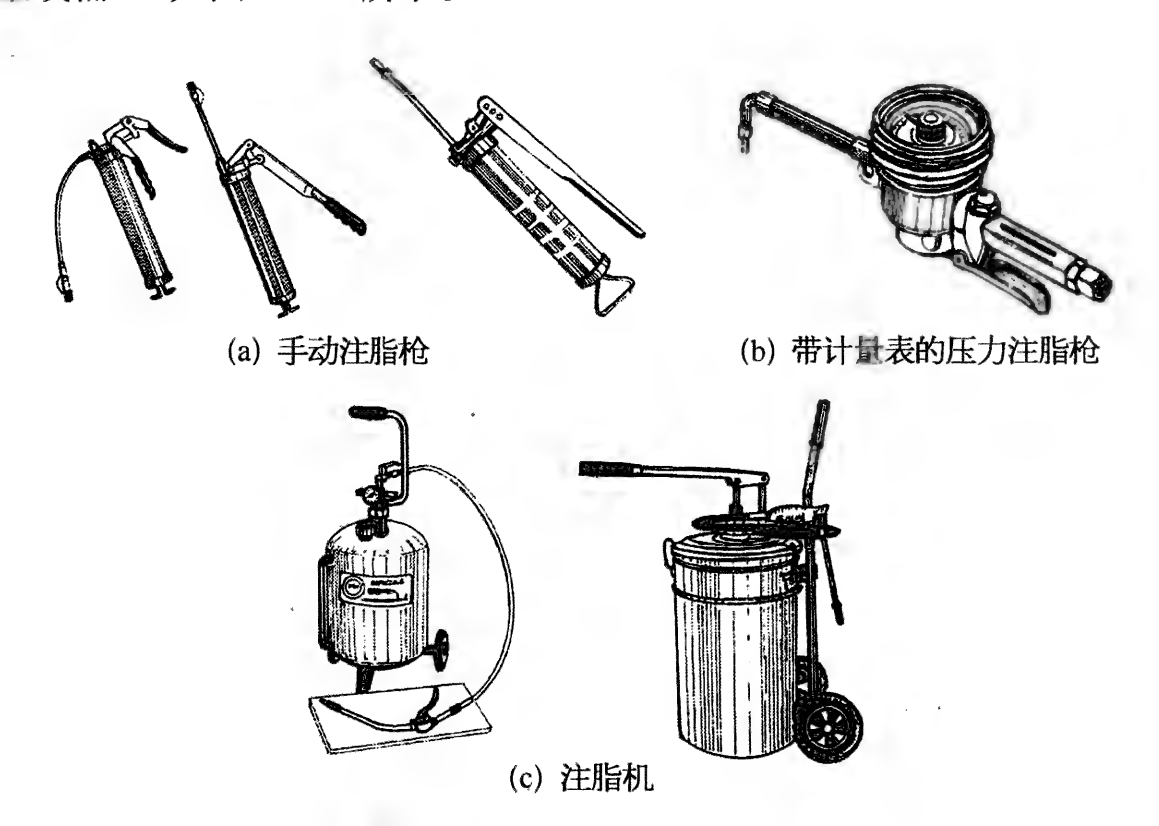
在无上述条件时,可用铜棒抵在轴承内圈上,用榔头击打,如图 2-45d所示。要在圆周方向以 180°的角度,一上一下,一左一右地循环着

敲打，用力不要过猛。

2.7.4 加注润滑脂

1. 注脂工具

滚动轴承的注脂工具有手动注脂和压力注脂两种型式，俗称为油枪，有些品种还带有计量装置，较大的修理单位则有可能使用专用的注脂机（罐或桶）。如图 2-46 所示。



(a) 手动注脂枪　(b) 带计量表的压力注脂枪

(c) 注脂机

图 2-46　滚动轴承注油脂工具

在没有上述专用设备的场合，可用干净无毛刺的竹板、木板或铜板等。应禁止使用带棱角的钢制工具。

2. 润滑油脂的类型、性能和选用原则

1）电机滚动轴承常用润滑油脂

根据电机使用环境和运转状态的不同，可用于电机滚动轴承的润滑油脂有多种组分和牌号，应注意根据实际情况进行选择：例如在较低温度或较高温度环境中的电机则需要耐低温或耐高温的专用润滑脂；转速较高的电机选用高速润滑脂等；普通用途的电机可使用电机专用润滑脂。

应注意若轴承运行时温度不高的情况下，不要随意选用耐高温的专用润滑脂，因其黏度要比普通的大，会使轴承温度升高。应使用专用容器保持润滑脂的清洁。

国产电机轴承润滑脂的品种代号、性能及用途见表2-9。

表2-9 常用轴承润滑脂的品种代号、性能及用途

名称及代号	性能				用途及相关说明
	外观及颜色	滴点(℃)	适用温度(℃)	适用转速和负荷	
钙基(Ca) ZG-1～4	黄色,乳膏状	70～90	-10～+70	中-低速,中-低负荷	中、低速及可能遇到水或潮湿部位的轴承
复合钙基 ZFG-1～4	褐色,乳膏状	200～280	-10～+150	中-低速,高-低负荷	滑动轴承和滚动轴承,耐高温,耐水
钠基(Na)长纤维	黄-青色,亮纤维状	140～200	-10～+100	中-低速,高-低负荷	中、低速轴承,不得含水分,以防乳化
钠基(Na)短纤维	黄-青色,乳膏状			高-低速,高-低负荷	高温滚动轴承,不得含水分,以防乳化
铝基(Al)	青-红色,透明拉丝状	70～90	-10～+80	中-低速,中-低负荷	受振动的轴承,挤压性好,滴点下安定性好
钙-钠基(Ca-Na)	黄-青色,短纤维膏状	150～180	-10～+120	高-低速,中-低负荷	高速滚动轴承,有一定的抗水性和机械安定性
锂基(Li)-石油	褐-红色,乳膏状	170～190	-30～+130	高-低速,高-低负荷	中、小型滚动轴承,耐低温,高速万能脂
锂基(Li)-合成油	褐-红色,短纤维膏状	170～220	-50～+130	高-低速,高-低负荷	高、低温均能适应的滚动轴承,低温性能尤为明显
复合锂基	褐-黄色,乳膏状	200～280	-30～+130	高-低速,高-低负荷	高、低温均能适应的滚动轴承,多效通用

几种常用的进口电机轴承润滑脂的品种代号、性能及用途见表2-10。

表2-10 常用进口轴承润滑脂的品种代号、性能及用途

名称及代号	生产国	性能				用途及相关说明
		外观及颜色	滴点(℃)	适用温度(℃)	适用转速和负荷	
美孚保力来 POLYREX EM	美国	蓝	288	-20～+110	用于苛刻条件(振动、潮湿)的重载	聚脲基
美孚保力来 POLYREX EP1		绿	180	-20～+110		

（续表）

名称及代号	生产国	性能				用途及相关说明
		外观及颜色	滴点（℃）	适用温度（℃）	适用转速和负荷	
SKF LGMT 2	瑞典	红棕	180	−30～+120	中低负荷，低噪声	锂基
SKF LGEP 2		淡棕	180	−20～+110	中低转速，重载	
SKF LJHP 2/18		蓝	180	−20～+110		
壳牌爱万利 EP 1	英国	绿	180	−12～+110	中低转速，重载	锂皂基
加德士 Caltex Polyurea HD	美国	深绿	180	−20～160		聚脲基
加德士 Caltex Multifak AFB		浅棕	180	−40～120	中、高速	锂皂基

2）不同成分润滑脂的兼容性

原则上讲，不同组分（包括基础油和增稠剂）的润滑脂是不许混用的。这一点在对轴承第一次注脂时是很容易做到的。但在机械运行过程中，补充或更换油脂时，则往往会因为一时找不到原用品种或其他原因而使用另一品种的润滑脂，造成不同组分混用的结果。

不同组分混用后，有时没有出现异常，有时则会出现油脂稀释或板结、变色等现象，降低润滑作用，最终损坏轴承的严重后果。之所以出现上述不同的结果，涉及不同组分的润滑脂之间的兼容性问题。混用后作用是正常的，说明两者是兼容的，否则是不兼容的。

表 2－11 和表 2－12 分别给出了常用润滑脂基础油和增稠剂是否兼容的情况，供使用时参考。表中："＋"为兼容；"×"为不兼容；"?"为需要测试后根据反映情况决定。对表中所列不兼容的品种应格外加以注意。

表 2－11　常用润滑脂基础油兼容情况

基础油＼基础油	矿物油/PAO	酯	聚乙二醇	聚硅酮甲烷基	聚硅酮苯基	聚苯醚	PFPE
矿物油/PAO	＋	＋	×	×	＋	?	×
酯	＋	＋	＋	×	＋	?	×
聚乙二醇	×	＋	＋	×	×	×	×

（续表）

基础油＼基础油	矿物油/PAO	酯	聚乙二醇	聚硅酮甲烷基	聚硅酮苯基	聚苯醚	PFPE
聚硅酮(甲烷基)	×	×	×	+	+	×	×
聚硅酮(苯基)	+	+	×	+	+	+	×
聚苯醚	?	?	×	×	+	+	×
PFPE	×	×	×	×	×	×	+

表 2－12　常用润滑脂增调剂兼容情况

增稠剂＼增稠剂	锂基	钙基	钠基	锂复合基	钙复合基	钠复合基	钡复合基	铝复合基	黏土基	聚脲基	磺酸钙复合基
锂基	+	?	×	+	×	?	?	×	?	?	+
钙基	?	+	?	+	×	?	?	×	?	?	+
钠基	×	?	+	?	?	+	+	×	?	?	×
锂复合基	+	+	?	+	+	?	?	+	×	×	+
钙复合基	×	×	?	+	+	?	×	?	?	+	+
钠复合基	?	?	+	?	?	+	+	×	×	?	?
钡复合基	?	?	+	?	×	+	+	+	?	?	?
铝复合基	×	×	×	+	?	×	+	+	×	?	×
黏土基	?	?	?	×	?	×	?	×	+	?	×
聚脲基	?	?	?	×	+	?	?	?	?	+	+
磺酸钙复合基	+	+	×	+	+	?	?	×	×	+	+

3. 滚动轴承的注脂量

比较合适的油脂注入量应视轴承室空腔容积(将两个轴承盖与轴承安装完毕后，其所包容的内部空间中空气占有的部分，)大小和所用轴承转速(对于交流电动机，也可用极数代替转速)来简略地计算加油量，见表 2－13。

表 2－13　根据电机的工作转速确定轴承润滑脂注入量

电机转速(r/min)	<1 500	1 500～3 000	>3 000
润滑脂注入量(与轴承室空腔比例)	2/3	1/2	1/3

注润滑脂时，场地要干净清洁，所用工具应用汽油清洗干净。油脂注完后，应尽快装配好其他部件，要防止进入轴承中的油脂夹带灰尘杂物，特别是砂粒和铁屑等。

3 普通三相异步电动机常见故障原因和诊断方法

3.1 常见故障名词解释

在讲述电动机常见故障及原因时，常会出现一些专用名词，现解释如下。

3.1.1 三相电流(或电压、电阻)不平衡度

以三相电流为例，三相电流的不平衡度 ΔI 是三个实测电流 I_1、I_2、I_3 中最大(I_{max})或最小(I_{min})的一个数值与三相平均值 $I_P=(I_1+I_2+I_3)/3$ 之差占三相平均值 I_P的百分数，见下式(取绝对值较大的作为判定结果)。

$$\Delta I=\frac{I_{max}-I_P}{I_P}\times 100\% \quad 或 \quad \Delta I=\frac{I_{min}-I_P}{I_P}\times 100\%$$

例如：测得三相空载电流分别为 $I_{01}=28$ A、$I_{02}=28.7$ A 和 $I_{03}=25$ A，则其平均值为 $I_{0P}=(28+28.7+25)/3\approx 27.23$ A，三相中最大的为 $I_{0max}=28.7$ A，最小的为 $I_{0min}=25$ A，则三相空载电流的不平衡度 ΔI_0 为：

$$\Delta I_0=\frac{I_{0max}-I_{0P}}{I_{0P}}\times 100\%=\frac{28.7-27.23}{27.23}\times 100\%\approx 5.4\%$$

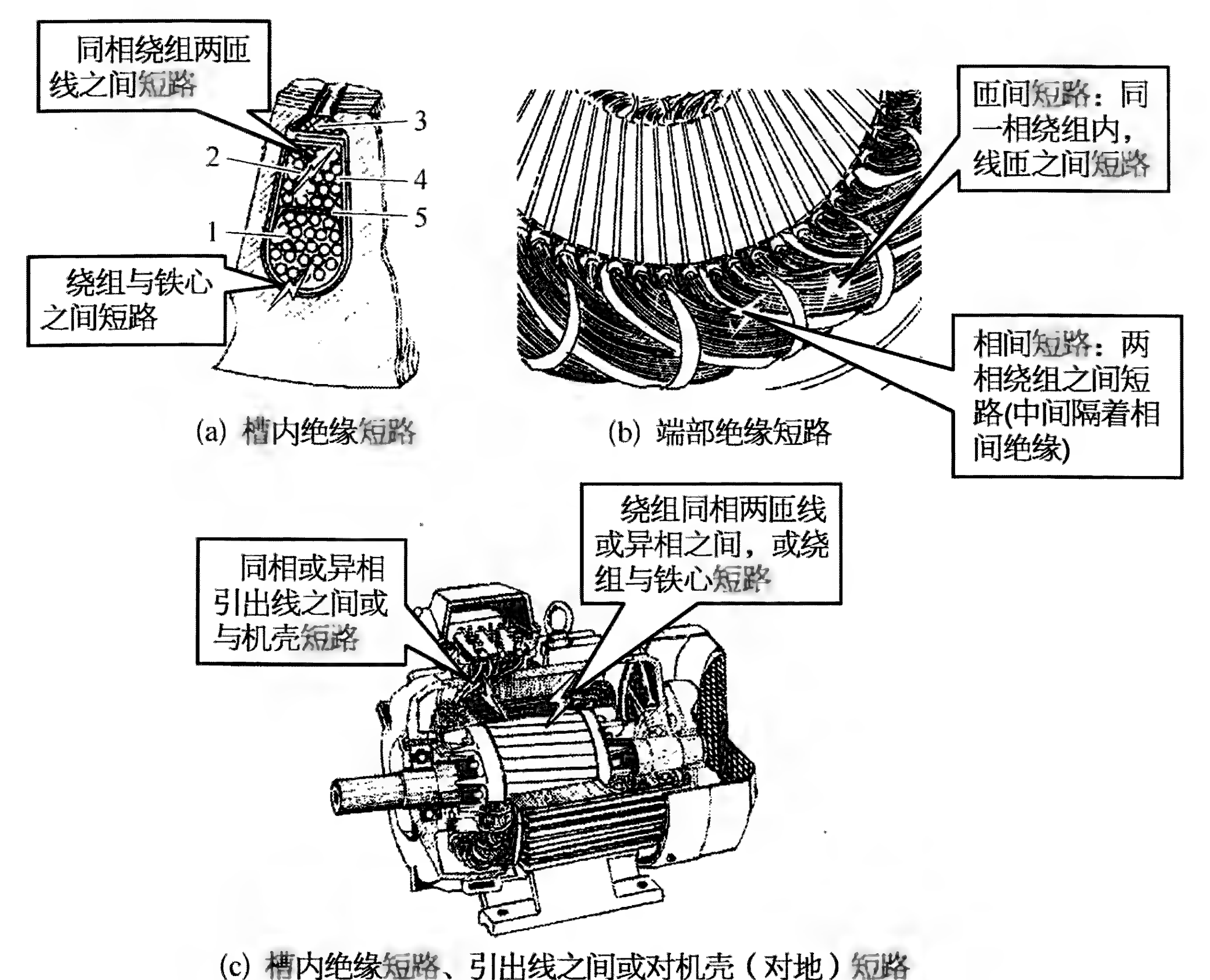
$$或 \quad \Delta I_0=\frac{I_{0min}-I_{0P}}{I_{0P}}\times 100\%=\frac{25-27.23}{27.23}\times 100\%\approx -8.2\%$$

3.1.2 匝间、相间、对地短路

如图 3-1 所示。

1. 匝间短路

一相绕组(一个线圈内或相邻线圈之间)中不同线匝之间因绝缘不良而产生的短路，习惯简称为“匝间”。匝间短路可能发生在任何部位，但发生在绕组端部一相绕组中相邻线匝之间的较多。



(a) 槽内绝缘短路　　(b) 端部绝缘短路

(c) 槽内绝缘短路、引出线之间或对机壳（对地）短路

图 3-1　绕组匝间、相间短路和对地短路

1—下层边导线；2—上层边导线；3—槽楔；4—槽绝缘；5—层间绝缘

2. 相间短路

三相绕组中，两相绕组之间因绝缘不良而产生的短路，习惯简称为“相间”，发生部位的情况同匝间短路。

3. 对地短路

绕组及其他带电部分(例如引出线、接线装置等)与机壳、铁心等金属部件之间，因绝缘不良而发生的短路，统称为“对地短路”，习惯简称为“对地”。绕组在槽口处与铁心发生短路的情况较多，引出线与铁心或机壳之间、绕组在槽内与铁心短路有时也会发生。

3.1.3　转子断条

转子断条是指转子导条(铝条或铜条)中间断裂的现象，简称为“断条”或“断笼”。这种现象有的是电机出厂前就存在的，有的则是在电机出厂时是细条(局部没有充满转子槽截面)，在电机加载运行时，因细条部位

过热，最终烧断该笼条而形成断条。

3.1.4 缺相(断相)

一般指有一相或两相因电源设备(含变压器、供电线路开关元件、线路连接点等部件)故障未通电的现象。较常发生的是缺(断)一相，如缺(断)两相则通电时电机将无任何反应。

有时也会出现因电动机接线装置接线部位松动未连接、引出线断开、内部绕组断开等故障，造成缺少一相电源或一相绕组断电的情况。实际上也应属于“缺相”的范畴。

上述现象如图 3-2 所示。



图 3-2 造成“缺相”的几种故障现象

电动机在电源缺相的情况下通电起动时，一般不能正常起动，并发出较大的“嗡嗡”声；在运行中发生缺相故障时，会发出不正常的声音和振动，同时转速下降，温度很快升高。若没有电路过流保护，两种情况都会导致电机过热烧毁。

3.1.5 机械噪声和电磁噪声

电动机通电运行时发出的噪声由两大类组成，一类是机械噪声，主要是轴承运转和风扇通风产生的；另一类是电磁噪声，是由于电磁力的作用使某些部件(例如硅钢片或绕组)产生较高频率的振动而发出的。

在断电后会立即消失的那一部分噪声是电磁噪声，还存在的噪声即是机械噪声。这是区分两类噪声最简单最直接的方法。如图 3-3 所示。

3.1.6 不同心和不同轴

不同心是指两个圆的圆心不重合。这两个圆一般应在一个平面内或

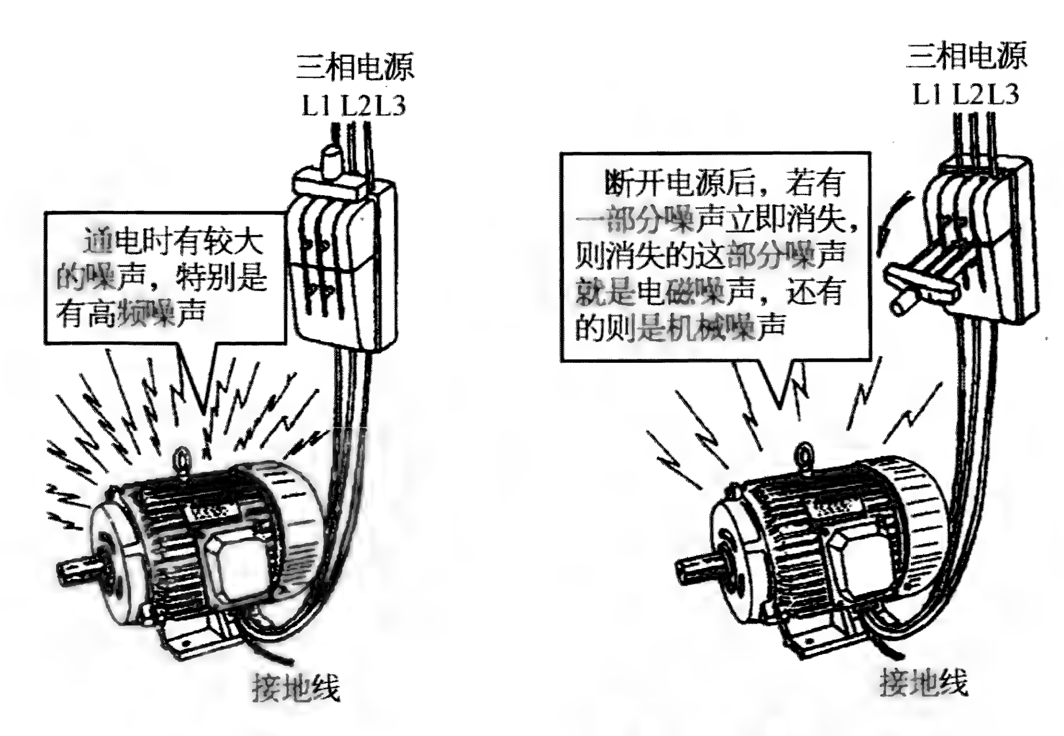
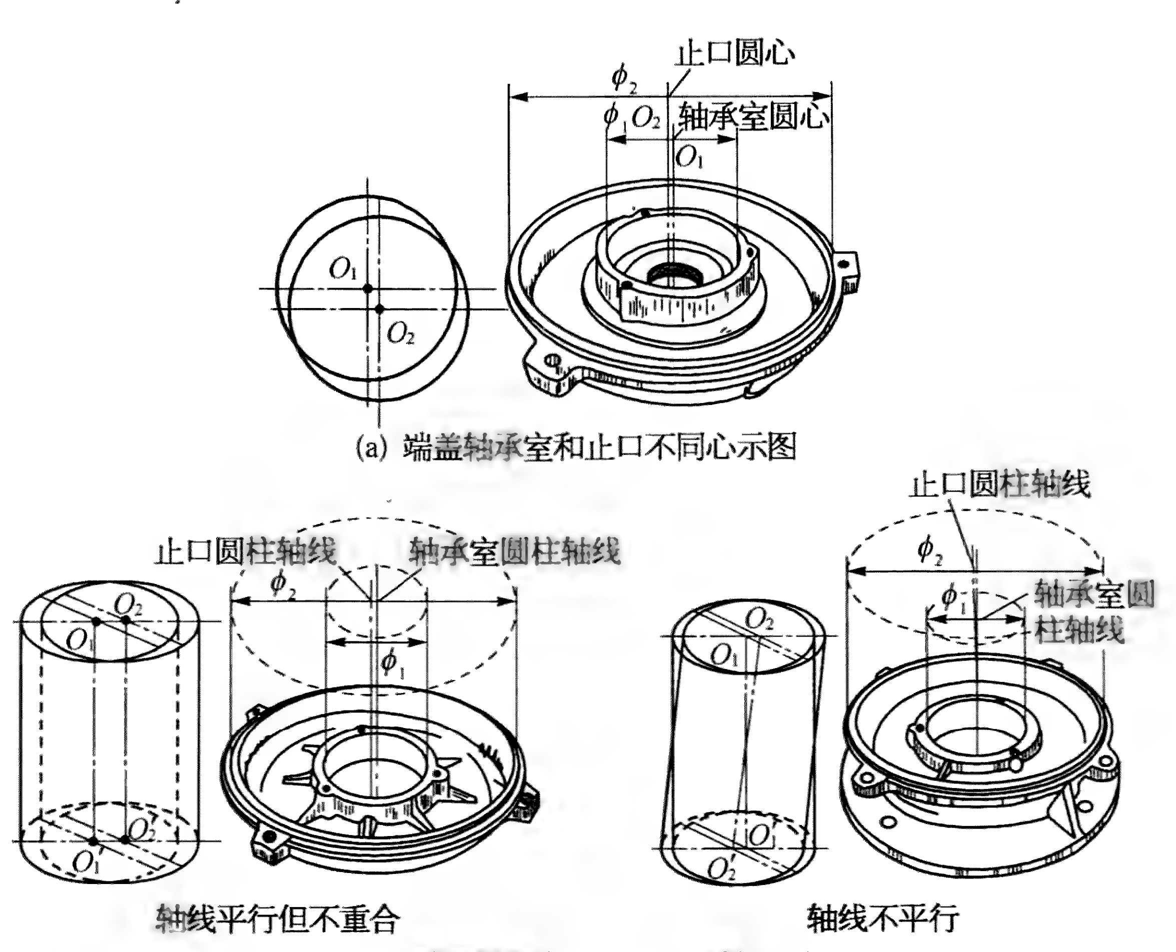


图 3-3 用通、断电的方法确定电磁噪声

在两个相互平行的平面内，如图 3-4a 所示。严格地讲应称为“同心度”不符合要求。



(a) 端盖轴承室和止口不同心示图

(b) 端盖轴承室和止口不同轴示图

图 3-4 不同心和不同轴的示意图

不同轴是指两个圆柱的中心线(称为轴线)不重合。一般指两侧面线相互平行的圆柱,此时两个轴线也是平行但不重合,如图 3-4b 所示;在不严格的情况下,也可指两侧面线不平行的圆柱,此时两个轴线也是不平行的。严格地讲应为“同轴度”不符合要求。

以下的故障分析中没有严格区分不同心和不同轴这两个概念,原因是为了适应人们的日常习惯。

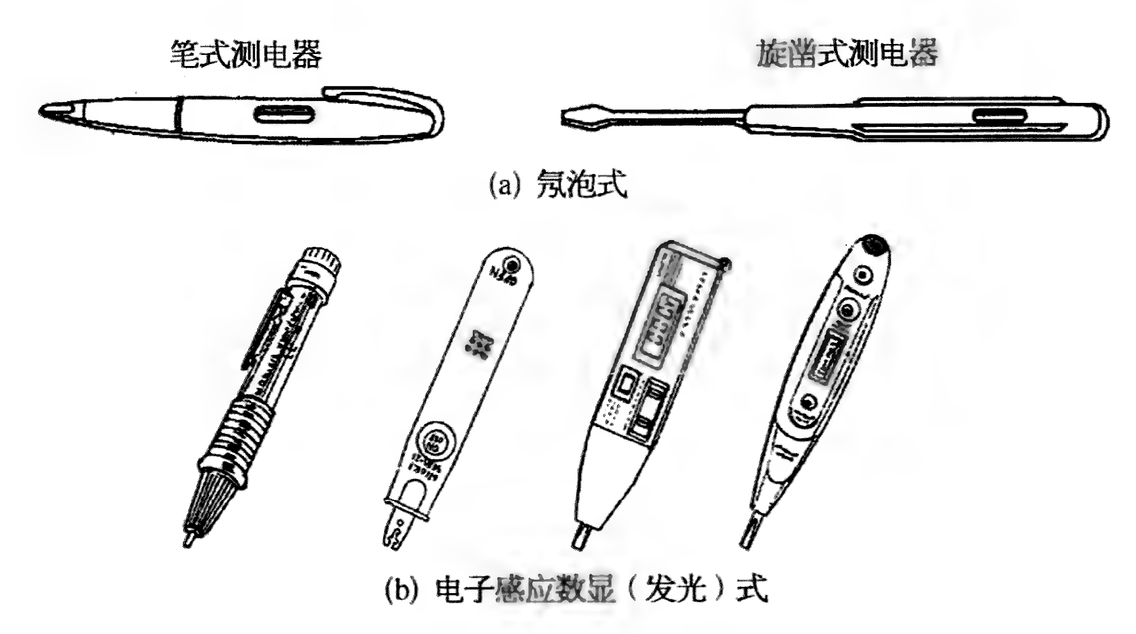
3.2 电机检测常用仪器仪表和测量方法

3.2.1 低压验电器(验电笔)

1. 类型和结构

用于电压为 500 V 以下的验电器称为低压验电器。

就其形状而言,低压验电器有便以携带的笔形(被习惯称为“电笔”)和旋凿式(外形和普通螺钉旋具完全相同)两种;按显示形式分传统的“氖管(泡)式”和新型的电子感应数显式两大类。氖泡式根据其发光的亮度判定电压的高低;电子感应数显式则可显示大概的电压数值,并同时具有灵敏度高的优点;但大部分品种需要内装纽扣电池。图 3-5 为几种外观示例。



(a) 氖泡式

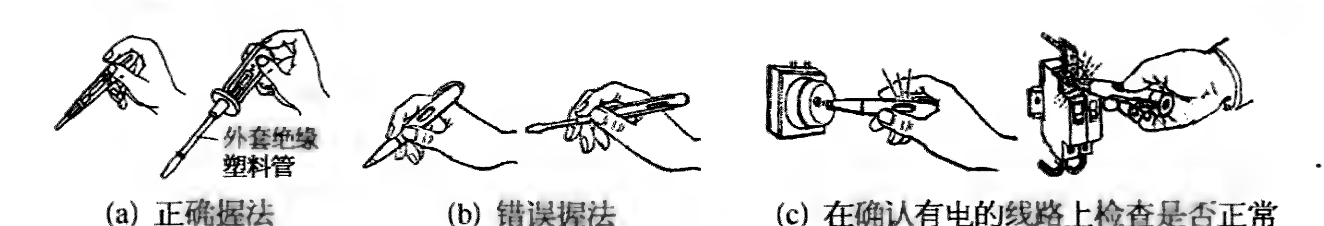
(b) 电子感应数显(发光)式

图 3-5 低压验电器的外形和结构

2. 使用方法和注意事项

(1) 绝不可用低压验电器去接触高压,否则将很危险。

(2) 在使用低压验电笔检验某部位是否有电时，手应如图 3-6a 所示接触笔尾的金属点；千万不要如图 3-6b 所示去接触前端与电路相接触的金属部分。



(a) 正确握法　(b) 错误握法　(c) 在确认有电的线路上检查是否正常

图 3-6 使用验电器的安全注意事项

(3) 若笔身出现了裂纹，其绝缘性能将降低，不可再使用。

(4) 若笔中的电阻丢失，不可随意用另一个其他的电阻更换，否则有可能因阻值小而加大通过使用者身体的电流(低压验电笔的电阻一般为 1～2 MΩ)，造成伤害。

(5) 要经常保持笔身的清洁和干燥，目的是防止其外表面污染后降低绝缘性能。

(6) 为了确保安全，使用人员应穿好绝缘鞋，握笔的手也应保持干燥。

(7) 在正式使用之前，应在确认带电的电器线路或接线端子等位置检验所用验电器是否正常，即接触带电部位时，应正常发光(对于电子感应式为正常显示相关信息，下同)，如图 3-6c 所示。若不进行此项试验，在检测实际带电的线路时，则有可能因所用验电器已经损坏而不发光，认为不带电而进行相关操作，造成触电等事故。

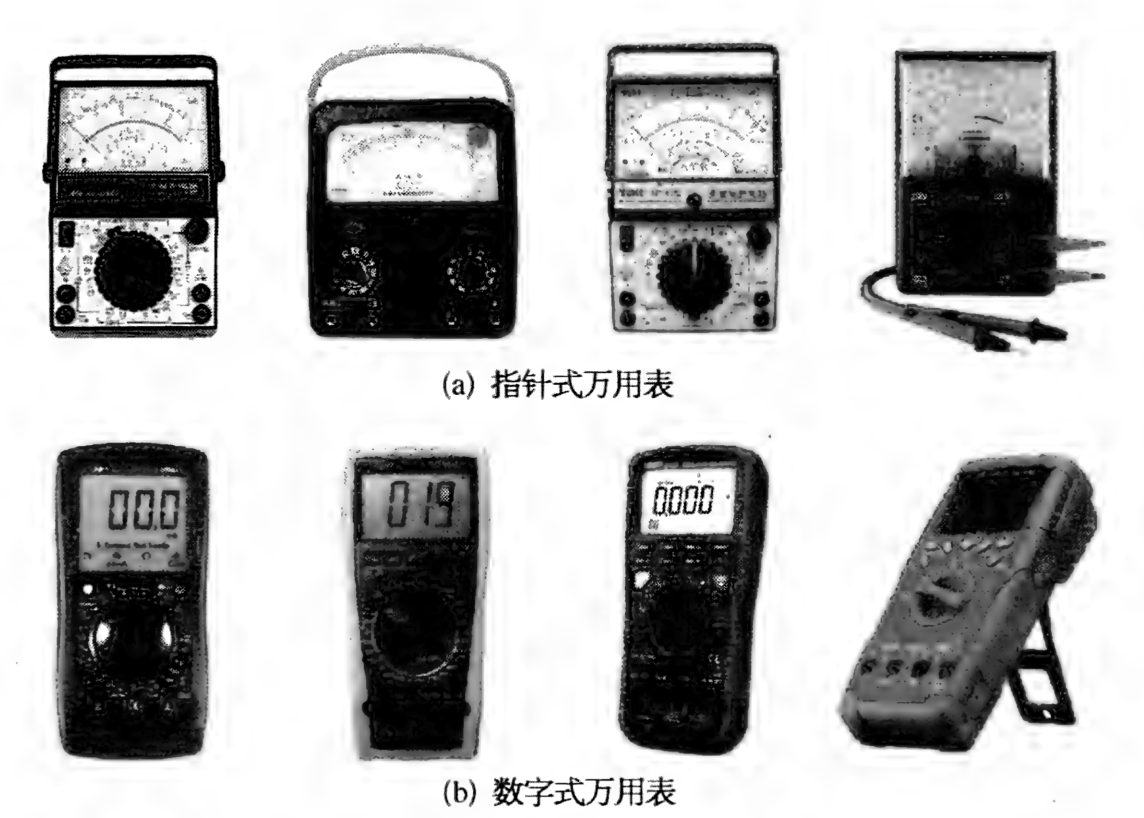
3.2.2 万用表

1. 分类和主要功能

万用表是电机修理工作中最常用的仪表之一，有传统的指针式和现代的数显式两大类。虽然后者在很多方面优于前者，例如准确度可达到 1 级以上(指针式测量直流电时为 2.5 级，测量交流电时为 5.0 级)，除可测量电压、直流电流和电阻之外，还可测量温度、电容量、频率，以及判定三相电源的相序等，但在某些需要观察连续变化过程的场合，指针式表的作用还是不可代替的。

虽然万用表的品种极多(图 3-7 是几种示例)，但其功能和使用方法却大体相同。常用万用表都具有以下 4 项主要功能：

(1) 测量导体的直流电阻。一般最小分度为 0.2 Ω，最大量程(可读



(a) 指针式万用表

(b) 数字式万用表

图 3-7　几种常见的万用表

值)在 5 MΩ 以内。

(2) 测量交流电压。一般最大量程为 500 V,有的可达到 1 500 V 或 2 000 V 等。

(3) 测量直流电压。量程同交流电压。

(4) 测量直流电流。一般最大量程在 2.5 A 以下。

2. 使用万用表的通用注意事项

(1) 应根据被测量的类型(是电压还是电阻)来选择表的功能键或旋钮位置。

(2) 根据被测量的大小来选择量程。选择原则是使被测量在使用量程的 25%～95%之间(指针式万用表测量电阻除外,下同),最好在 75%～95%之间,其目的是保证测量的准确度。如果事先无法知道被测量的大小,则应先选择较大的量程,待实际测量后再根据情况改变为合适的量程。但要注意,改换量程时要事先脱离测量状态,即不可在测量当中转换量程旋钮或按键,否则将有可能烧坏转换元件和电路。

(3) 在测量之前,要看指针是否在零位线上,若不在,则应通过旋转调整螺钉将其调整到零位线上。

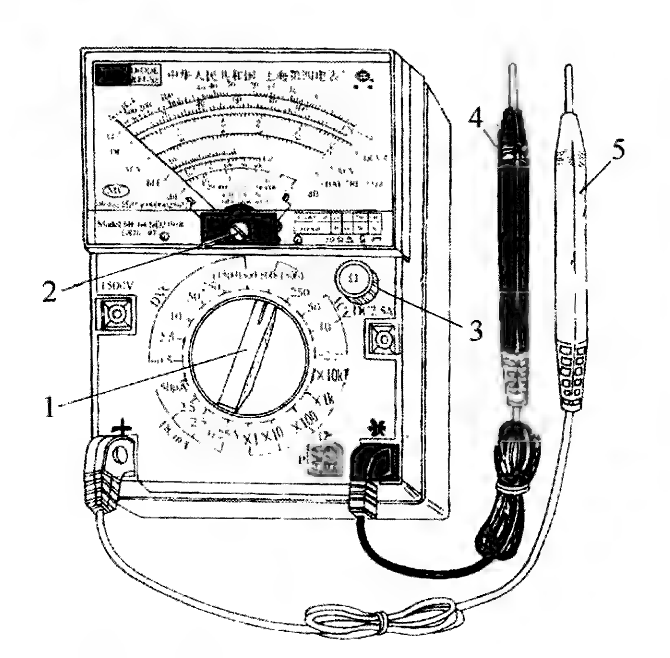
(4) 要检查表笔和引接线的绝缘情况,如发现有破损情况应进行加强绝缘处理或更换新品。其目的是防止触电事故的发生。

(5) 要检查表笔和插座等连接部位的接触情况,如发现有接触不良的现象时,应事先进行处理。其目的是防止因接触不良、电阻较大而造成测量数值的不稳定和较大误差。

(6) 测量较高的交流电压时,应戴手套、穿绝缘鞋。注意防止对地或相间短路。

3. 指针式万用表的结构和元件用途

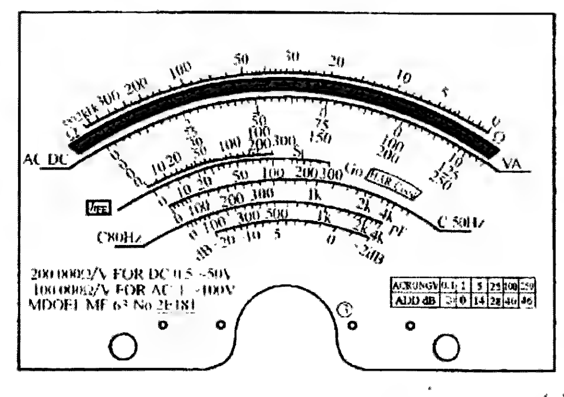
常见的指针式万用表主要结构如图 3-8a 所示。其部件名称和功能如下:

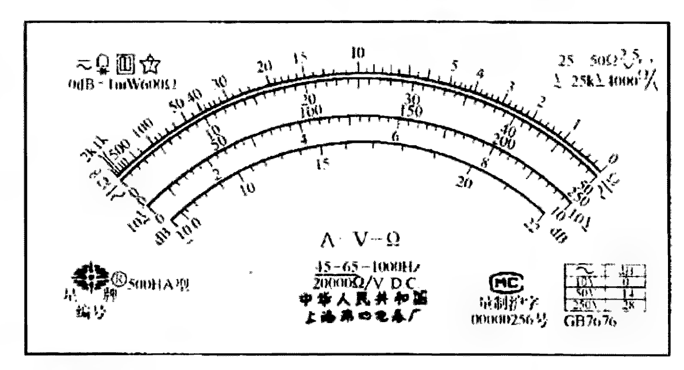


(a) 外形示例

红
U_0
内置电源
R_0
黑

(b) 电阻档接线原理图





(c) 刻度盘示例

图 3-8 普通指针式万用表

1—功能和量程选择旋钮; 2—机械调零螺钉; 3—电阻调零旋钮; 4—黑表笔; 5—红表笔

1) 插孔

一般有"+"、"—"(或"*",有的表用符号"COM"表示,称为"公共端")两个。测量电阻时,"+"端与表内的电池负极相接;"—"端与表内的

电池正极相接。如图 3-8b 所示。其他插孔有专用的高电压、大电流插孔，以及测量晶体三极管性能数据的专用插孔等。

2）表笔

一般为红、黑两种颜色各一只。红色的与“+”端口相接；黑色的与“-”(或“*”、“COM”)端口相接。使用时应特别注意避免插接松动造成接触不良和绝缘破损造成触电事故。

3）刻度盘

指针式万用表的刻度盘具有多条刻度线，如图 3-8c 所示。最上面的一条是电阻刻度线，其零位在右边；从上数第 2 条为直流(DC)电压和电流及交流(AC)电压刻度线，其零位均在左边，应注意所标注的数字有多种，应按选用的量程选择其中的一种，选择的原则是便于尽快地得出实际数值，例如测量 220 V 左右的交流电压时，量程确定为 250 V，则所得读数则为实际测量值，选择其他的数据则需要换算。图 3-8c 左图电阻与电压电流刻度线之间的黑色宽线条实际为一个镜面，其用途是在读表时帮助确定视线的准确方向，即当在镜子里看不到表针的影子时视线的方向最正确，此时看到的指针指示值也就最准确。

4）机械调零螺钉

用于将指针调整到零位(刻度线最左边的 0 刻度线位置)。调整时，仪表应按规定位置放置，一般为水平状态。

5）项目及量程旋钮

首先是用于确定测量项目，其次是选择被确定项目中的量程。拨动时，应注意确认到位(可通过手感和发出的声响来确定)。

6）电阻调零旋钮

在选定测量电阻并设定量程之后，用于将指针调整到电阻的零位(电阻刻度线最右边的 0 刻度线位置)。

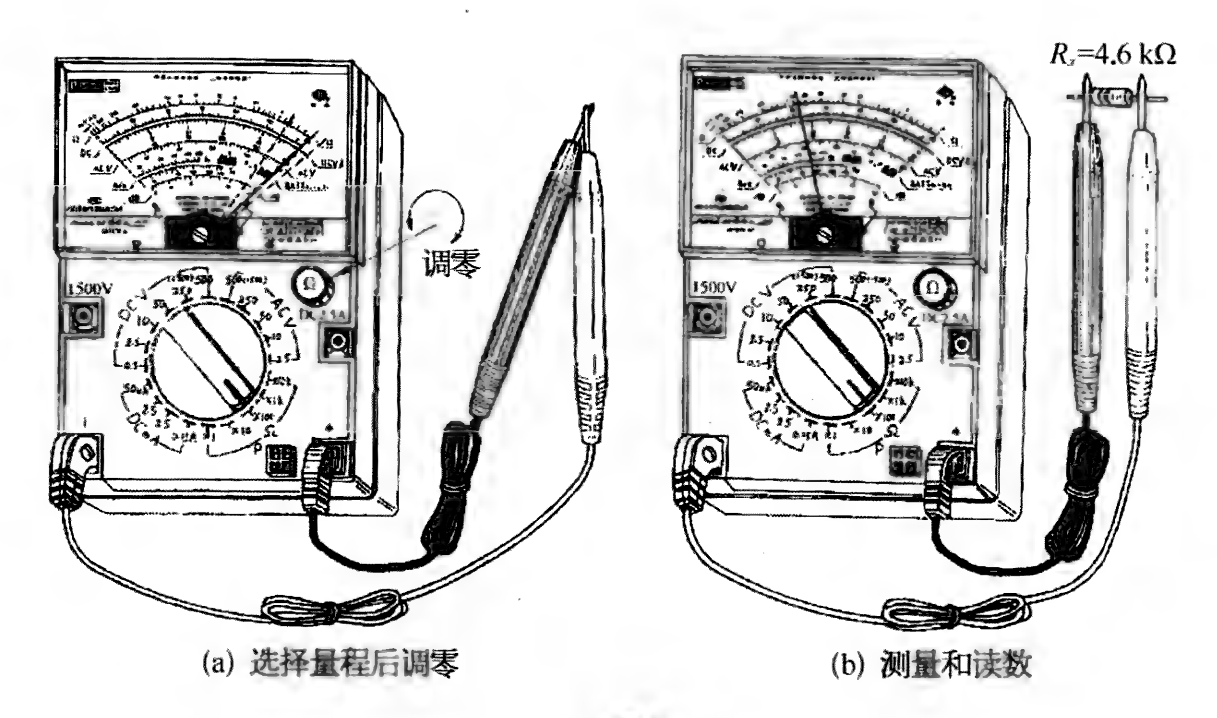
4. 指针式万用表的使用方法

下面以图 3-8a 所示的指针式万用表为例，介绍它的 4 个主要功能的使用方法(使用前的检查工作见前面第 2 项内容)。

1）测量电阻

先选择好电阻挡的适当量程。和测量其他电量不同的做法有：除在使用之前要对表针进行调零外，在选择好电阻挡的适当量程后，还要对表针进行“电阻调零”，并且每次设置量程之后都要进行一次，并且必须达到要求后才能进行测量，否则将造成较大的误差。

电阻调零的方法是：将两表笔短路，此时表针将很快摆到 0 Ω 附近，若正好在 0 Ω 线上，则可进行测量，否则要通过旋动电阻调零旋钮使其指到 0 Ω 线上，如图 3－9a 所示。调整要迅速，时间过长将耗费较多的表内电池能量。若表针始终在 0 Ω 线的左侧(有数字的一侧)，则说明表内的电池电压已较低，不能满足要求，要更换新电池后再进行上述调整。



(a) 选择量程后调零　　(b) 测量和读数

图 3－9　测量电阻

调整好零位后进行测量。应注意表笔和电阻引线要接触良好。如图 3－9b 所示，读数为 46 Ω，量程倍数为×100，则所测电阻值为 100×46 Ω=4 600 Ω=4.6k Ω。

在测量时，表笔与被测电阻的接触一定要良好，以减小接触电阻对测量值的影响。当被测电阻数值较大时(指 1 kΩ 以上)，两只手不要同时接触被测电阻的两极(两条引出线)。因为这样将会使得到的测量值小于被测电阻的实际值，被测电阻值越大，误差越多。

2) 测量直流电压

用仪表测量直流电压时，要与被测元件并联；黑色笔与被测元件与电源的负极端相连的一端相接，红色笔与被测元件与电源的正极端相连的一端相接。这样表针才会向有读数的方向(向右)摆动，否则表针将反转。

3) 测量直流电流

要将仪表串联在被测电路中，所以在测量之前要将被测电路断开并

接入仪表，黑色笔与直流电源的负极端相接，红色笔与被直流电源的正极端相接。

4）测量交流电压

测量接线方式与测量直流电压的相同，只是不必考虑接线的极性问题。

3.2.3 钳形电流表

1. 类型和功能

交流钳形电流表(简称钳形表)是检测运行中交流电路电流最常用的一种仪表，因为在测量时不用断开被测量电路，所以使用起来很方便。

老式的钳形表只有测量交流电流和电压两种功能，新式的钳形表有指针式和数字式两大类，同时具有测量交、直流电压和电流，电阻，甚至于包括温度、电容量、频率、三相交流电源的相序等多种功能。市场上出售的钳形表种类很多，功能也不尽相同，图 3－10 是几种钳形表的外形。



图 3－10 低压钳形表示例

2. 使用方法和注意事项

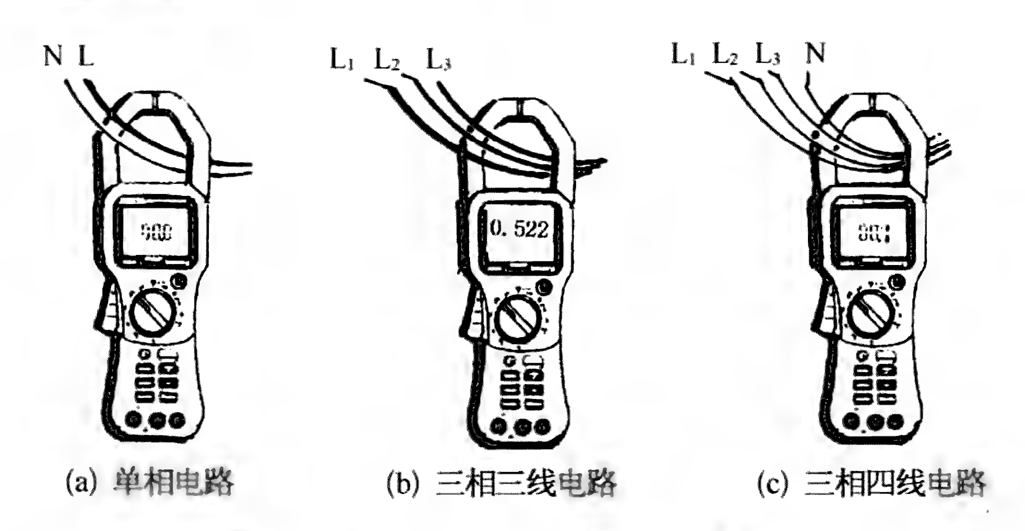
(1) 在使用钳形电流表时，要特别注意安全问题，握表的手要戴手套。虽然仪表具有较高的绝缘性能(安全等级为Ⅱ类)，但为了确保安全，仍要坚持不可测量无绝缘导线的电流；另外，要注意在测量操作过程中防止造成带电元件对地或相间短路。

(2) 测量时，导线应尽可能地处于钳口的中心位置。

(3) 钳口内只能允许有一相的导线，含有一相双芯(一条相线和一条中性线)、两相双芯(两条相线)和三相三芯或三相四芯(其中一条为中性线)的同轴电缆线中的电流不能使用钳形电流表进行测量。这是因为此

时钳形电流表钳口所包围的电流和为零。

(4) 当测量一相双芯或三相三芯电缆线时，若将所有的导线同时放入钳口内，则仪表显示的数值将是泄漏电流值，如图 3-11 所示，图 3-12 是几种测量泄漏电流的专用表。



(a) 单相电路 (b) 三相三线电路 (c) 三相四线电路

图 3-11 用钳形电流表测量对地泄漏电流



(a) ETCR6300型 (b) 2433FA型 (c) 2413FA型 (d) MCL-800D型

图 3-12 测量对地泄漏电流的专用钳形电流表

(5) 当三条相线可分开时，若将其中两条相线同时放入钳口内，则仪表显示的数值将是第三相的电流值，如图 3-13 所示。

(6) 当被测量的数值很小时，为了提高测量精度，可将被测量的载流导线在钳口铁心上绕几圈(通过钳口一次则计为一圈)，此时仪表显示的数值将扩大为所绕圈数的倍数(例如绕 1 圈，扩大 1 倍；绕 2 圈，则扩大 2 倍)。将仪表显示的数值除以圈数则为实际电流值，例如图 3-14 所显示的实例，电源线只穿过钳形表铁心一次时，仪表显示值为 0.5 A；导线通过铁心孔的次数 $N=5$ 次时，显示值则为 2.5 A，即线路实际电流 $I_1=2.5\ \text{A}/5=0.5\ \text{A}$。

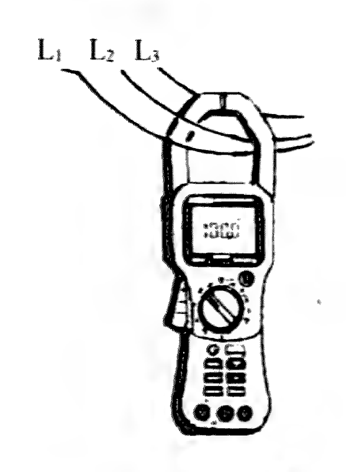


图 3-13　特殊情况下测量三相中一相电流的方法

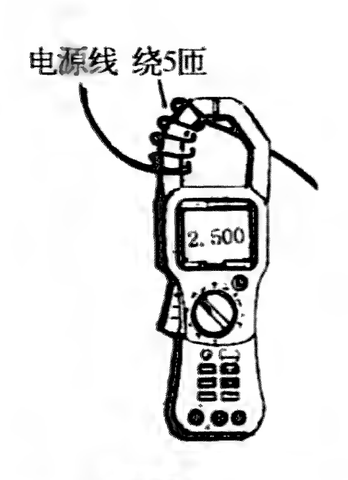


图 3-14　测量小电流的用法

(7) 普通数字钳形电流表不能测量交流变频器的输出电压和电流，特别是电压，几乎不能显示稳定的数值。这是因为交流变频器的输出电压是几千甚至几万赫兹的调制方波形式的，而普通数字钳形电流表仅能测量工频左右的正弦波的有效值。

(8) 普通钳形电流表也不适合测量频率较小的电流(例如绕线转子异步电动机的转子电流等)。

3.2.4　绝缘电阻表

1. 类型

绝缘电阻表用于测量电气元件的绝缘电阻数值，其显示数值单位为兆欧(MΩ)，所以习惯称为“兆欧表”。传统的兆欧表为指针式，发电用内装的手摇式发电机，所以俗称为“摇表”，测量绝缘电阻时也经常称作“摇绝缘”。新型的绝缘电阻表利用内部的电子线路产生所需的电压。显示方式有指针式和数字式两种外形图。图 3-15 给出了部分产品外形。

在测量时，需要输出一个规定的电压数值，该数值称为绝缘电阻表的额定电压，它是表征此类仪表规格的依据，例如额定电压为 500 V 的则称



(a) 500 V手摇式



(b) 1 000 V手摇式



(c) 电子指针式



(d) 电子数字式

图 3-15　绝缘电阻表

为“500 V 兆欧表”。常用的兆欧表的规格有 250 V、500 V、1 000 V 和 2 500 V等四种。手摇发电式的兆欧表是一个仪表只具备一种电压规格。电子式则一般同时具备几个电压规格，通过转换开关或按钮进行设定。应根据被测元件的额定电压来选择兆欧表的规格。

2. 使用方法

为防止仪表的两条引线接触部位存在绝缘损伤造成对测量的影响，应使用单独的两条绝缘引线。在测量前，要进行开路和短路检查，具体做法是：将两条绝缘引线分开成开路状态，摇动发电机或按下电源开关，正常时，仪表指示应为无穷大（表盘上的符号为“∞”）；将两条绝缘引线点接短路，正常时，仪表指示应为 0。

绝缘电阻表常用的两个接线端子分别为 L 和 E。在测量时，其 L 一端应与被测元件（例如电机绕组）相接，E 端应与地（例如电机外壳）相接。仪表还有一个标有“G”符号的接线端子，是在测量电缆等电器元件绝缘电阻时，为了防止外层因污秽等原因造成电流泄漏影响测量结果而使用的一个端子。

对手摇式表，测量时的手摇转速为每分钟 120 转，摇动的转速应尽可能均匀。待表针稳定到一个位置后，再读数确定测量结果，一般情况应摇动 1 min 左右。如图 3 - 16 所示。

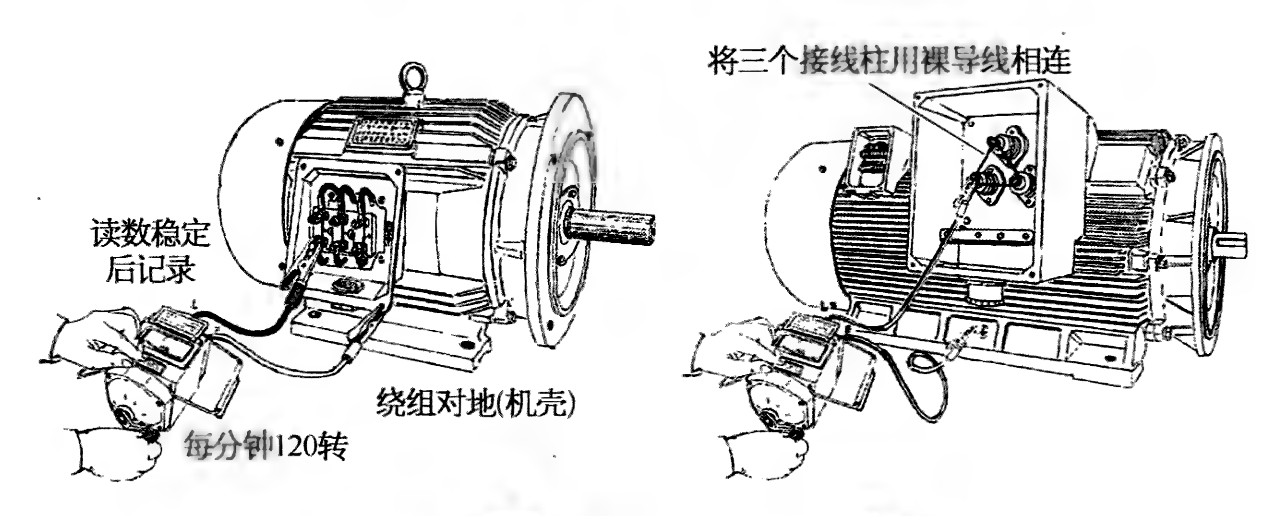


图 3 - 16 测量电动机绕组对机壳的绝缘电阻

测量之后，用导体对被测元件（例如绕组）与机壳之间放电后拆下引接线。直接拆线有可能被储存的电荷电击。

3.2.5 用示灯和漏电保护开关法检查电机的绝缘情况

当手头没有兆欧表时，可采用示灯法检查绕组的绝缘情况。灯泡可

用 25～40 W、220 V 的白炽灯，灯泡通过一个开关接交流 220 V 单相电源的相线（火线），电源的中性线（零线）接机壳，如图 3－17 所示。操作时应注意防止触电，试验人员应穿戴好绝缘鞋等劳保用具。应注意，此时需要将电机放在与地绝缘的地方，例如放在胶皮或干燥的木板上。

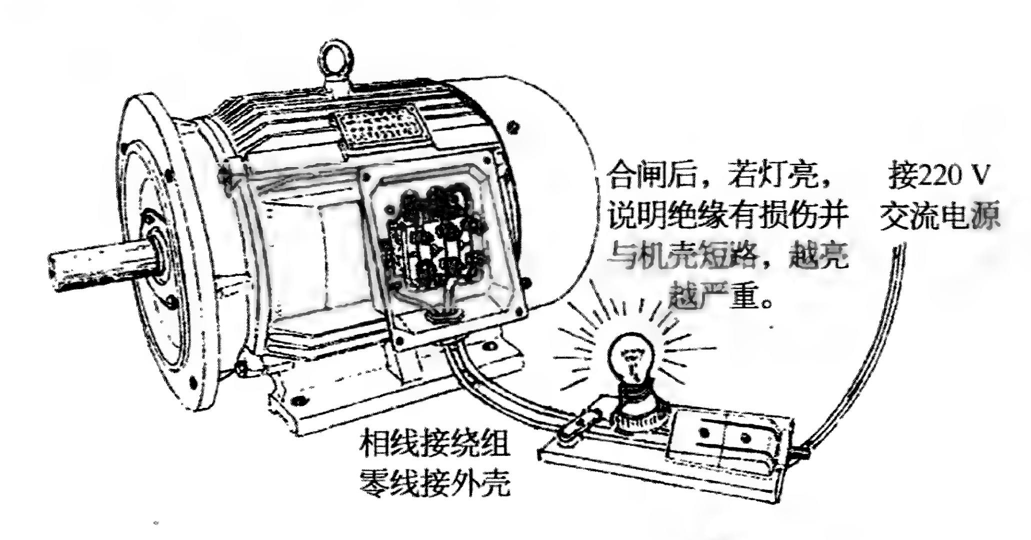


图 3－17　用示灯法检查电机的绝缘情况

通电后，灯泡不亮说明绝缘良好；微亮说明绝缘已较差；亮度达到正常状态时则说明绝缘已经完全失效，即已出现了短路点。

也可以将电机直接放在地上，为了加强其外壳与大地的连接，可用导线将其接地端子与附近的接地线连接。电机的三相绕组串联或并联，也可按正常运行连接的方法。用一个单相漏电保护开关输出端相线连接一个灯泡后接绕组的一端，漏电保护开关输出端零线连接绕组的另一端。如图 3－18 所示。开关闭合后，若不跳闸，灯泡有一定亮度，说明绝缘良

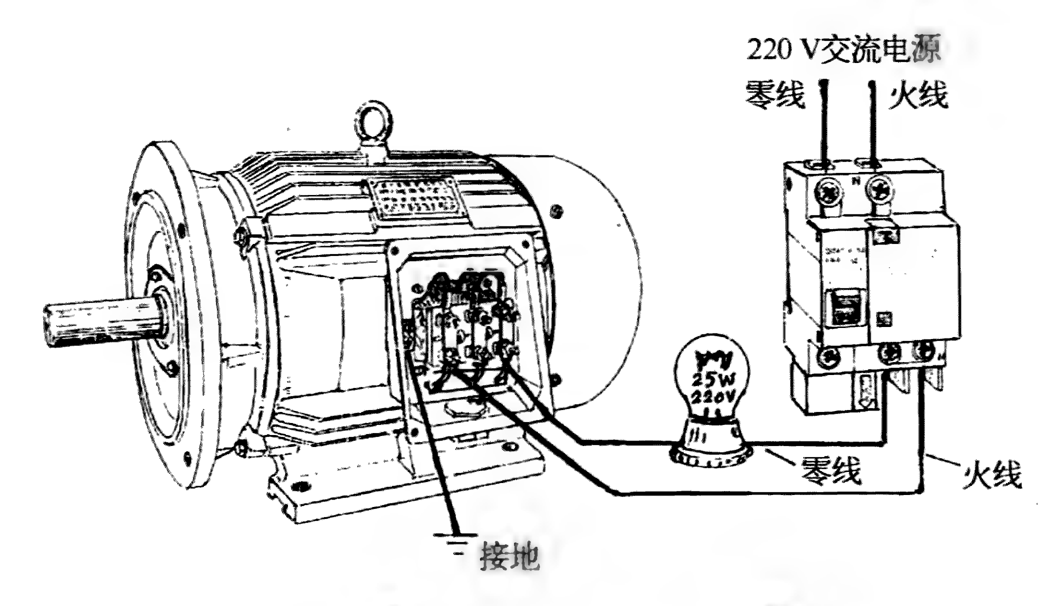


图 3－18　用漏电保护开关检查电机的绝缘情况

好;若跳闸,则绝缘已出现损伤,或者说已有对地漏电故障。

3.2.6 匝间耐冲击电压试验仪

1. 仪器的种类及相关要求

用于对绕组进行匝间耐冲击电压试验所用仪器简称为"匝间仪"。其规格按输出最高电压(峰值)划分,常用的(kV)有 3、5(6)、10、12、30、35、45 等多种。应按试验电压的高低和电机额定容量来选择仪器的规格。图 3-19 是几种国产匝间仪的外形。

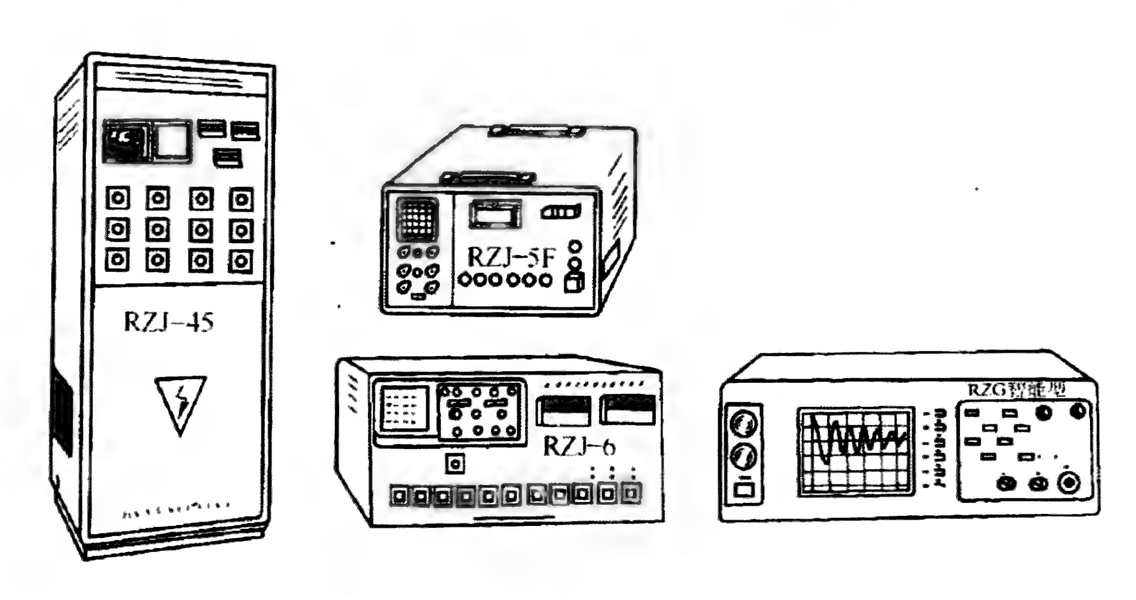


图 3-19 几种国产匝间仪

尽管不同类型的电机和不同形式的绕组各有自己的试验方法标准,但其试验工作原理是基本相同的。

试验时,仪器给两个绕组轮换着加相同波形和峰值的直流冲击电压,并由示波器在其屏幕同一坐标系上显示这两个绕组的振荡衰减放电波形曲线。若这两个绕组的电磁参数(匝数、直流电阻、形状、磁路参数、电容量等)完全相同,则其振荡衰减放电波形曲线在幅值和振荡周期上都会完全相同,从而在屏幕上完全重合,即只看到一条曲线;若这两个绕组的电磁参数不完全相同(如匝数不相等、磁路磁阻不相等、电阻不相同等),则其振荡衰减放电波形曲线就会有差异(或频率不同,或幅值不同),从而在屏幕上不完全重合,即可看到两条不同的曲线。由上述理论可以看出,这种试验属于对比试验。

2. 使用方法和注意事项

GB/T 22719.1—2008《交流低压电机散嵌绕组匝间绝缘 第 1 部分:试验方法》规定了额定电压为 1 140 V 及以下的中小型三相和单相交流电

机散嵌绕组匝间绝缘试验方法。

1）使用前的检查与调试

为确保试验的准确可靠，仪器在使用前应进行必要的检查与调试。

（1）引出线绝缘应无破损，与仪器连接应可靠（如有虚接将严重影响测量结果）。

（2）接通电源后，对于使用电子管做闸流管的仪器，需要等待一段时间（一般为 10 min 左右），高压指示灯点亮后，方可进行进一步操作。

（3）检查示波器显示的光标，应是一条与横轴平行的直线。调节好亮度和清晰度。旋动 Y 轴旋钮，检查是否是两条线。检查后将两条线合成一条。

（4）根据试验将要施加的最高电压，检查并调整 Y 轴的电压比例。

2）试验接线方法

三相绕组 6 个线端都引出时，可按图 3－20a 所示接法，称为相接法，它较适用于无换相装置的两相三线匝间仪，需人工倒相。三相绕组已接成Y形或△形时，则可按图 3－20b、c、d、e 所示的方法接线。三相倒换由按键或转换开关来完成。

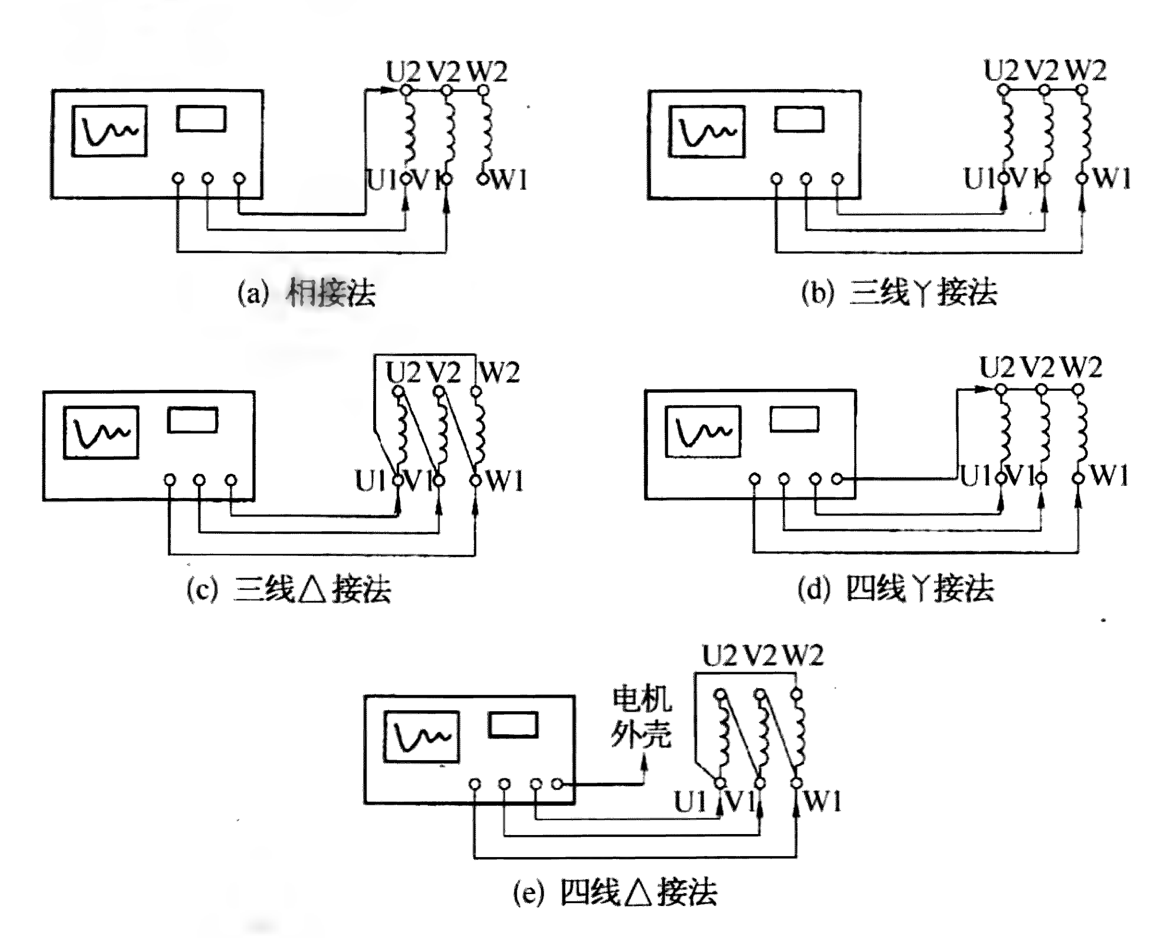


图 3－20 交流电机绕组匝间耐电压试验接线方法

3）安全注意事项

由于试验电压比较高，所以使用人员应注意防止触电。在试验后，应用导体对绕组对地放电后再拆下接线。

3.2.7 绕组短路（或断路）侦察器的制作和使用方法

1. 制作方法

绕组短路（或断路）侦察器，简称为“绕组侦察器”，实际上是一个特殊的开口变压器。可用于定子绕组匝间短路检查，此时被称为“绕组匝间短路侦察器”；也可用于转子断条（断路）检查，此时被称为“转子断条侦察器”。是电机修理行业（特别是小型和个体修理单位）一种常用的简单实用检查仪，一般为自制。图 3-21 为其外形及尺寸图。

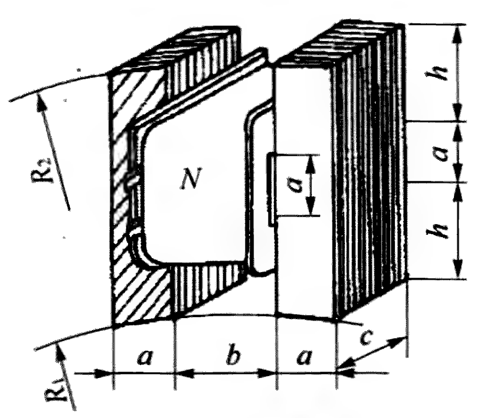


图 3-21 绕组侦察器的制作数据

其铁心为 H 形，用 0.35 mm 或 0.5 mm 厚的硅钢片制成。有关尺寸数据计算方法如下：

(1) R_1 为被测转子外圆半径，因一般要适用几个不同直径的转子，所以 R_1 可取其中间值。R_2 为被测定子内圆半径，可与 R_1 取同样的值，若另有用途可单独考虑。

(2) 铁心截面积（与转子铁心接触的面）应根据所测电机的功率来确定。电机功率大、铁心截面积也要大些。其中 a 尺寸应等于转子铁心齿宽；b 尺寸最好等于 1 个槽宽，槽宽过小时，可放到 2 个槽宽（含齿宽）。

50 kW 以下电机，铁心截面积可为 6～12.5 cm^2；50～500 kW 电机，铁心截面积可为 13～40 cm^2。

考虑到硅钢片的叠压系数为 0.9，则铁心净截面面积 S_H（cm^2）与几何面积 S（cm^2）的关系是 $S_H=0.9S$。

(3) 铁心叠厚 $c=\dfrac{100S}{a}$(mm)。

(4) 励磁线圈匝数 N（匝）用下式计算（利用电源电压 $U=220$ V，磁通密度 B 取 1.35 T）：

$$N=\frac{3\,600}{S_H}=\frac{4\,000}{S}(匝)$$

(5) 线圈导线直径 $d=0.9\sqrt{I}$(mm)。

式中 I——励磁线圈电流,$I=\frac{0.64S_H}{U}$(A)。

(6) 铁心窗口面积 $S_0=bh(\text{mm}^2)$。

(7) 铁心窗口高度 h(mm)应根据线圈厚度 h'(mm)来确定。可大于 h' 20 mm 左右。h'应包括外层绝缘及包扎物。

应确保绝缘可靠以保证使用时的安全。为此,应进行浸漆等绝缘处理,并进行 1 500 V、1 min 的耐电压试验后不击穿。

2. 用侦察器查找定子绕组匝间短路线圈的方法

用绕组短路侦察器查找定子绕组匝间短路点的方法步骤如下:

三相绕组之间的连线打开,即头尾均敞开。

将侦察器"骑"在一个定子槽口上,如图 3-22 所示。逐槽移动并观看电流表的示值,若示值较其他处大得较多,则侦察器所"骑"槽内的线圈有匝间短路故障。若不接电流表,可在侦察器所"骑"槽内线圈的另一条边所处槽的槽口上放一段铁片(可用废钢锯条),当该铁片产生较大振动和响声时,说明该线圈内有匝间短路故障。

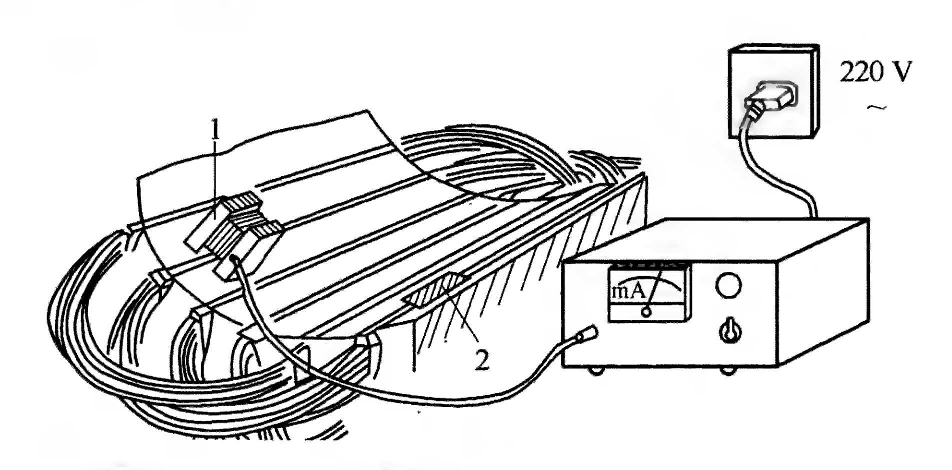
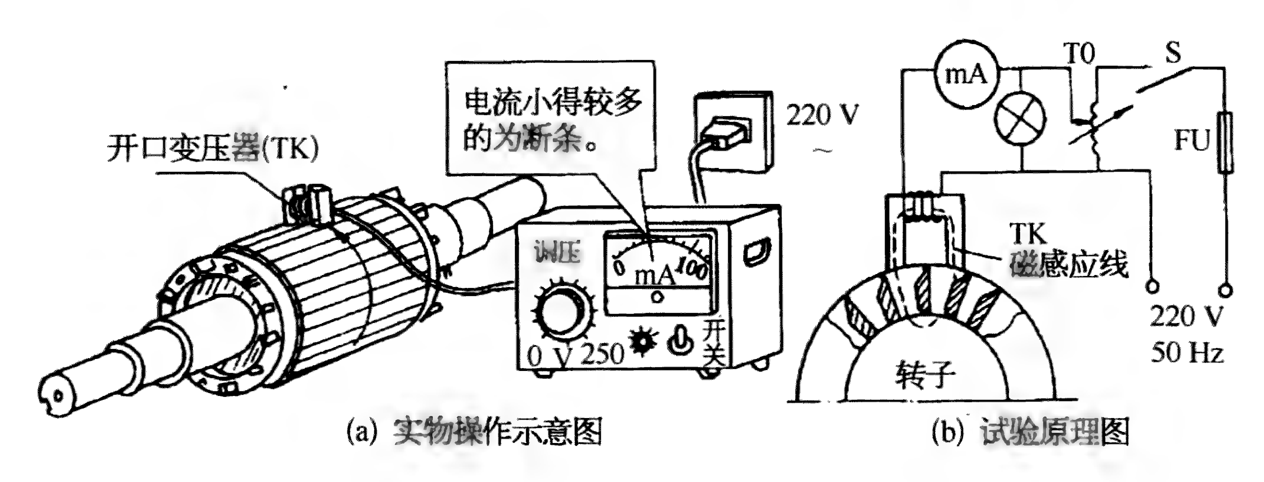


图 3-22 用绕组侦察器查找定子绕组的匝间短路故障

1—开口变压器;2—铁片

3. 用侦察器查找铸铝转子是否有断条的方法

用绕组侦察器检查转子是否有断条的方法步骤如图 3-23a 所示。将检查仪骑在槽口上,逐槽进行。每次观测电流表的指示值,电流小得多的槽是断条槽。



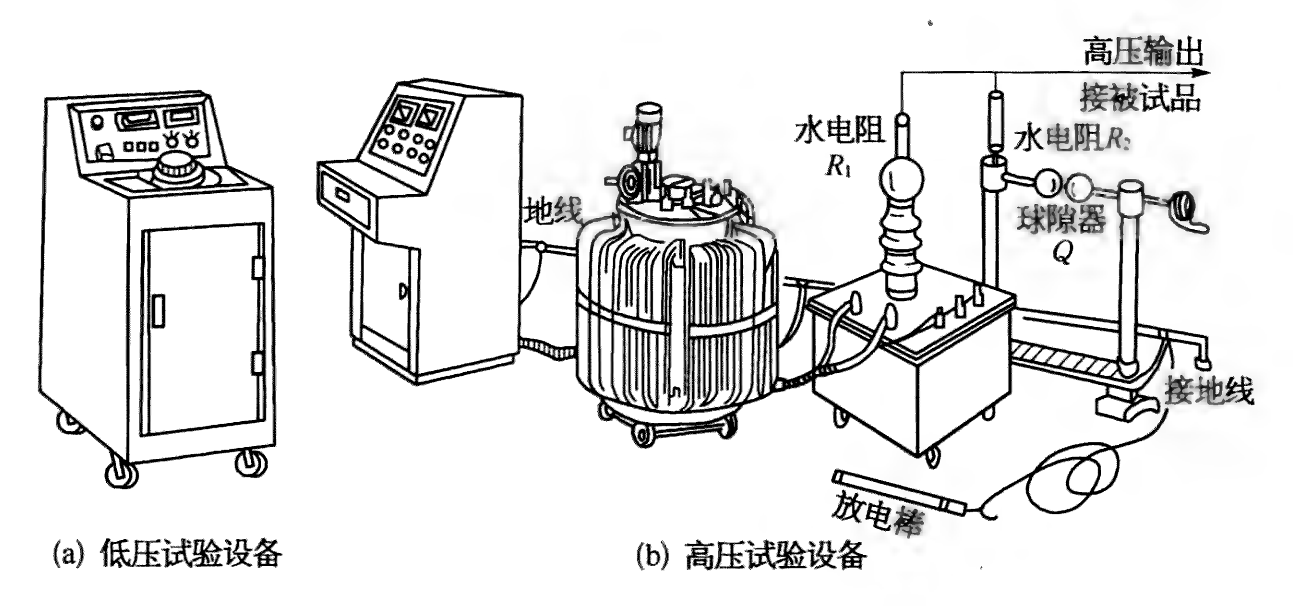
(a) 实物操作示意图　　(b) 试验原理图

图 3-23　用绕侦察器查找铸铝转子的断条

3.2.8　耐交流电压试验仪及试验方法

1. 对仪器设备的要求

耐电压试验应使用专用的试验仪器设备进行，图 3-24 给出了低压和高压试验仪器设备的外形。在国家标准中，对该类仪器设备的要求是：



(a) 低压试验设备　　(b) 高压试验设备

图 3-24　耐交流电压试验设备

(1) 输出电压应为正弦波，一般为交流 50 Hz。

(2) 高压变压器的容量按输出电压计算，每 1 kV 不少于 1 kVA。例如对 380 V 电机定子绕组接线后的耐电压试验值应为 2 260 V，则高压变压器的容量应不小于 2.3 kVA，一般选用 3 kVA。

(3) 试验电压应从高压侧取得。可使用专用的测量线圈或电压互感器。

(4) 应有击穿保护(跳闸)装置和高压泄漏电流显示装置，有明显的声光警示装置，应有可靠的接地系统。

2. 仪器设备使用方法和注意事项

(1) 试验时，加电压应从不超过试验电压的一半开始，然后均匀地或每步不超过全值的5%逐步升至全值，这一过程所用时间应不少于10 s。加压达到1 min后，再逐渐将电压降至试验电压的一半以后才允许关断电源。

(2) 为防止被试绕组储存电荷放电击伤试验人员，试验完毕，要将被试绕组对地放电后方可拆下接线，这一点对较大容量的电机尤为必要。

(3) 试验时，要高度注意安全。为此，要做到非试验人员严禁进入试验区；试验人员应分工明确、统一指挥、精力高度集中，所有人员距被试电机的距离都应在1 m以上；除控制试验电压的试验人员能切断电源外，还应在其他位置设置可切断电源的装置(例如脚踏开关)，并由另一个试验人员控制。

3.2.9 相序仪和确定三相电源相序的方法

电机转向是否正确的判定与电源相序有关。这是因为，电机标准中规定的旋转方向是以在按电源相序与电机绕组相序相同为前提条件下提出的。

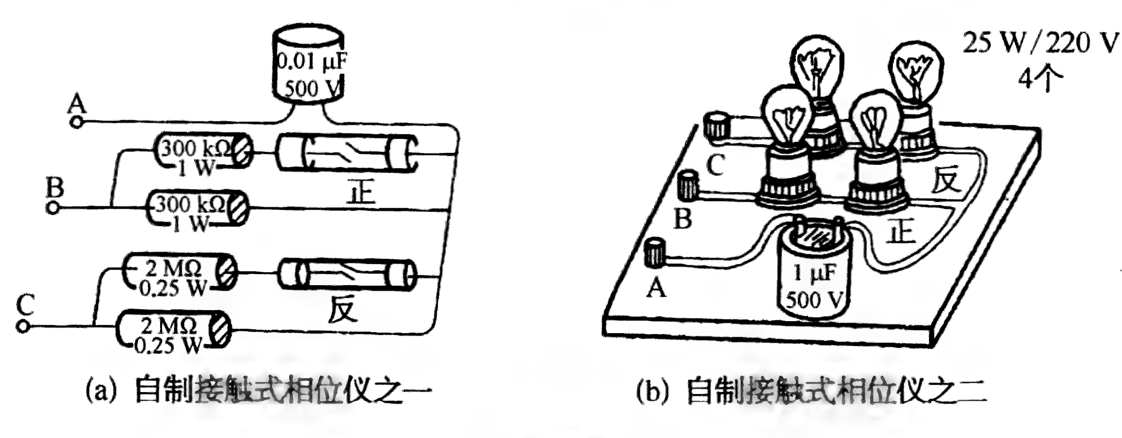
确定三相电源的相序可采用专用的相序检查仪，该仪器有出售的成品，如图3-25所示，也可按图3-26所示的电路实物图自制。



(a) 8031型　(b) DYXZ-02非接触式　(c) 8031F型

(d) ST-850型　(e) HIOKI非接触式　(f) 具有确定相序功能的VC3266C钳形表

图3-25　三相电源相序仪成品示例



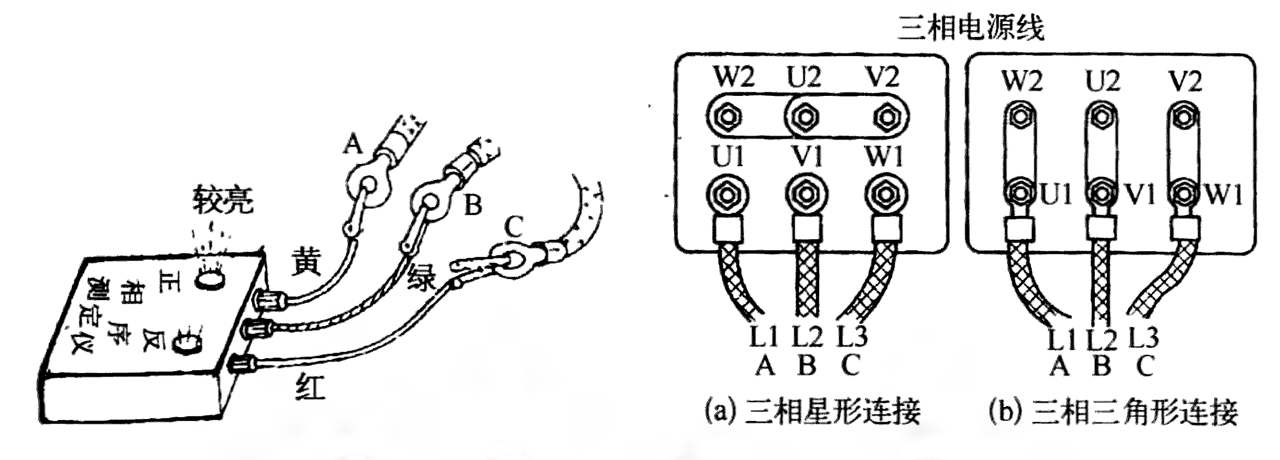
(a) 自制接触式相位仪之一 (b) 自制接触式相位仪之二

图 3-26 自制三相电源相序仪实物接线图示例

使用时，将仪器三条线分别接电源三条相线，接通电源。对于常用的正、反指示灯式相序仪(图 3-25a、b 和图 3-26)。此时，若标“正”的灯比标“反”的灯亮，则说明电源相序与相序仪接线相同；若“反”灯比“正”灯亮，则说明电源相序与相序仪接线相反。此时可任意调换一对接线后通电再试一次。如图 3-27 所示。

电源相序确定后，用黄、绿、红三种颜色或 A、B、C，U、V、W，L1、L2、L3 等代号标在各线端上。标志应牢固清晰。

若三相电源与电动机三相绕组同相序相连接，如图 3-28 所示，通电后则应按规定的方向旋转，否则说明电动机的相序不正确。此时，任意改换两相与电源的接线就可改变电动机的旋转方向。



(a) 三相星形连接 (b) 三相三角形连接

图 3-27 用相序仪确定三相电源相序

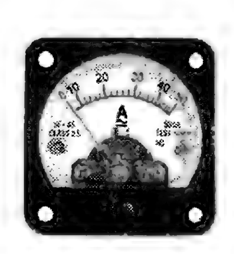
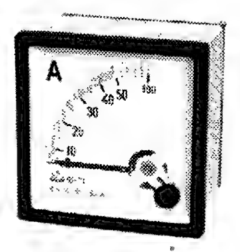
图 3-28 三相电源与电动机出线端子连接

3.2.10 交流电流表、电流互感器和电流测量

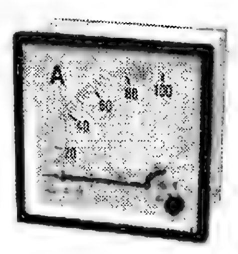
1. 交流电流表

在修理单位，一般使用固定在配电盘或试验台上的仪表进行相关测量。交流电可选用电磁系、电动系和整流系指针表或数字式电流表。

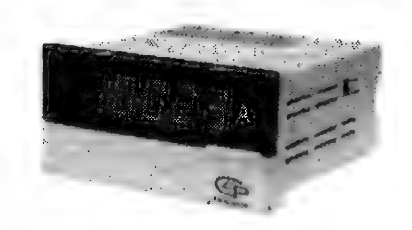
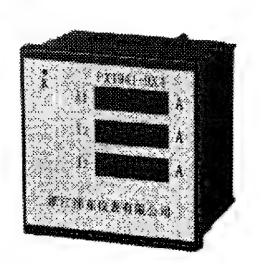
图 3-29 给出了部分固定使用的交流电流表，俗称为“板式表”，简称为“板表”。对于较大量程的交流电流表，需要按其表盘上标出的比数(例如 100/5)选配电流互感器，这样才能直接读取其指示的电流数值。


(a) 电磁系交流电流表




(b) 整流系交流电流表

(c) 数字式交流电流表

图 3-29 单相和三相交流电流表

2. 电流互感器

1) 类型

电流互感器用于扩大交流电流表的量程，分高压和低压、单比数和多比数、固定式和便携式等多种类型；其准确度(变比误差)有 0.2 级、0.5 级、1.0 级、1.5 级等，一般配电测量使用 0.5 级或 1.0 级。图 3-30 为几种外形示例。电流互感器的文字符号为“TA”(以前曾用“CT”)。

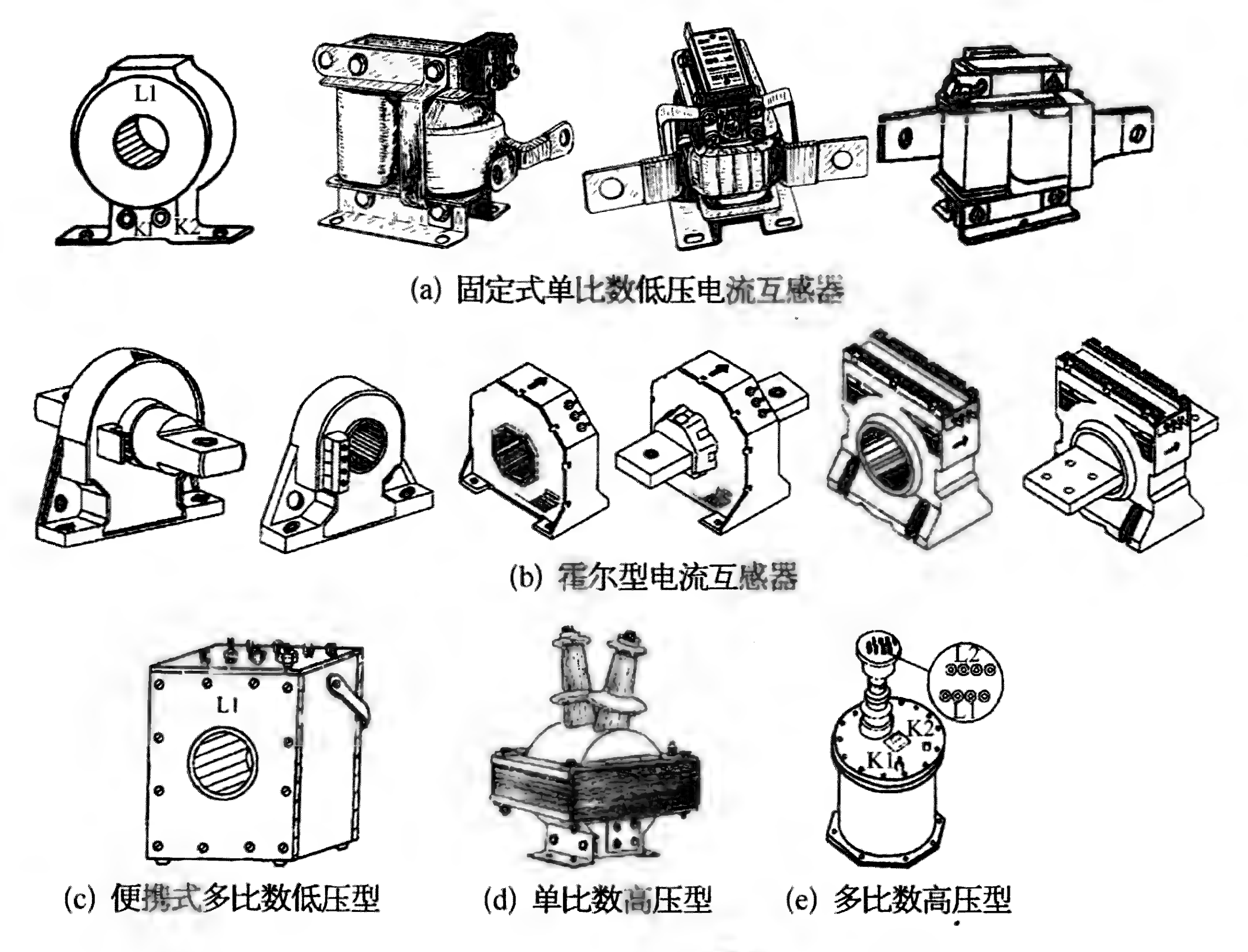
常用的电流互感器一次侧电流(A)有 10、25、50、100、200、400、500 等，均为 5 的整数倍，二次侧电流则统一为 5 A。选用时，一次侧电流应不小于被测量线路最大电流，并最好不大于被测量线路最大电流的 1.2 倍。

2) 通过电流互感器的电流测量接线方法和注意事项

(1) 电流互感器的一次侧绕组串联在被测量的电路中，其标有 L1 的端子应与电源端相接，另一端子与负载(电机)端相接。对于穿心式，穿过的导线实际上就是该电流互感器的一次侧绕组，二次侧绕组与电流表相接。如图 3-31a 所示。

(2) 所用电流互感器的比数(例如 100/5)应与所连接的电流表表盘上所标出的比数相一致(例如也是 100/5)，这样才能做到直接读取表指示的读数。

(3) 电流互感器的铁心和二次侧绕组的 K2 端必须可靠接地，如图



(a) 固定式单比数低压电流互感器

(b) 霍尔型电流互感器

(c) 便携式多比数低压型　(d) 单比数高压型　(e) 多比数高压型

图 3-30　电流互感器

3-31b 所示。

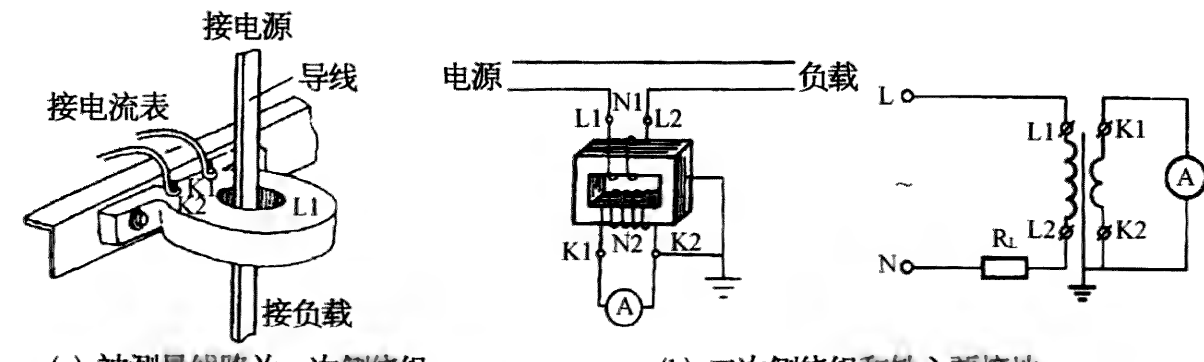
(4) 对于三相电路，若要求用三块电流表同时测量三相电流数值，则可使用两个电流互感器或三个电流互感器与三块电流表连接，实际接线示意图如图 3-31c 和 d 所示。

(5) 对于直接满压起动的交流异步电动机，电机通电起动时的电流很大，为了保护电流表，可用一个开关和电流表并联相接，在电动机起动前将开关闭合，这就是所谓的“封表”，也叫“封互感器二次”(由于以前电流互感器的文字符号为“CT”，所以也被称为“封 CT”)，起动完成后，将开关打开，即可读电流表指示数值，如图 3-31e 所示。

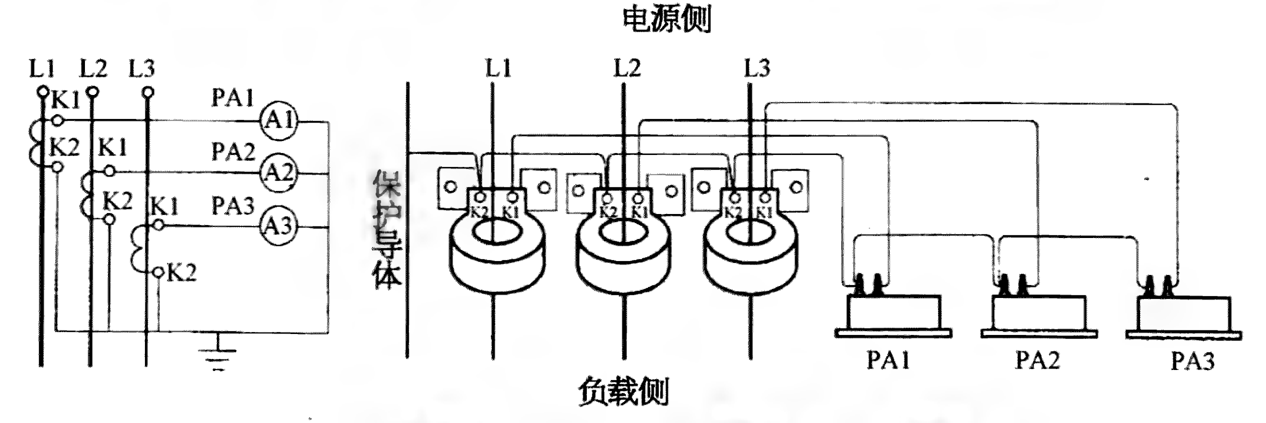
(6) 在通电使用中，电流互感器的二次侧回路绝对不许开路，否则有可能造成互感器的匝间击穿短路或导致使用人员触电。为此，电流互感器的二次侧电路中不允许安装熔断器。

3) 多比数电流互感器的接线方法

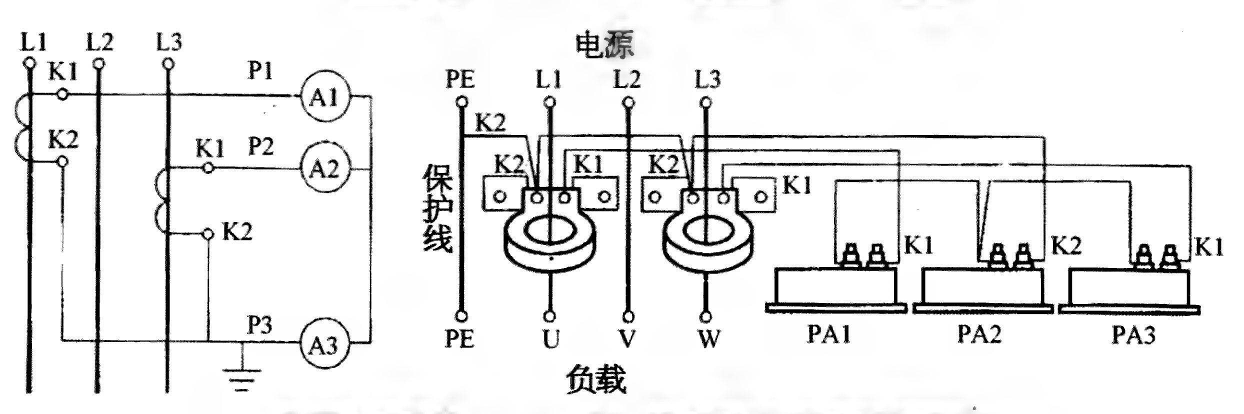
对穿心式互感器，电源线应由标有 L1 的一端穿入，穿过后去接负载。电源线穿过互感器中心孔几次，即为几匝，如图 3-32 所示。多比数附带穿心互感器的接线实例如图 3-33 所示。



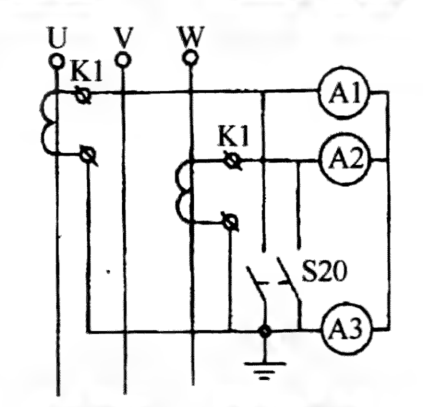
(a) 被测量线路为一次侧绕组　　(b) 二次侧绕组和铁心要接地



(c) 三相三互感器三表法三相四线制原理图和实际接线图



(d) 三相两个互感器三表法三相三线制原理图和实际接线图



(e) 在互感器二次侧设置短路开关

图 3－31　电流互感器测量接线图

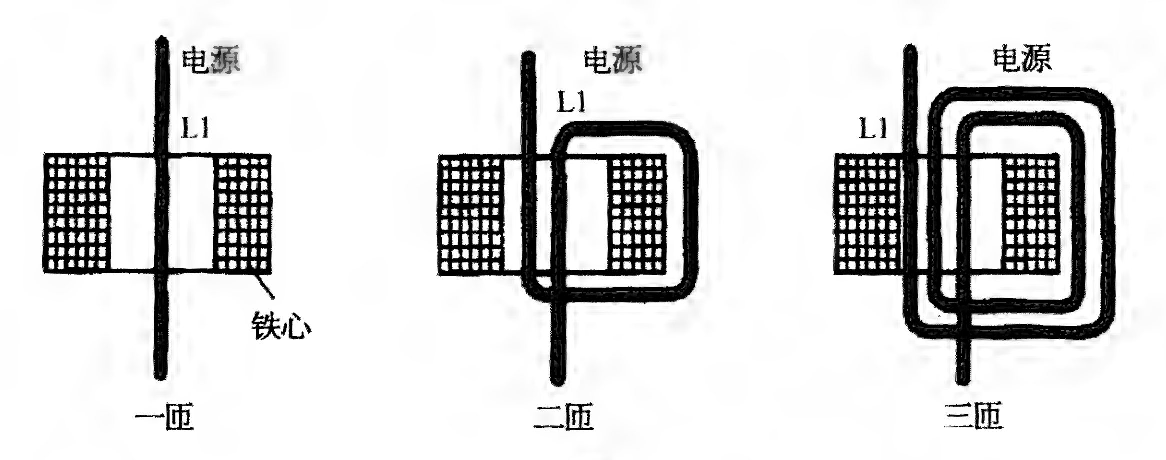
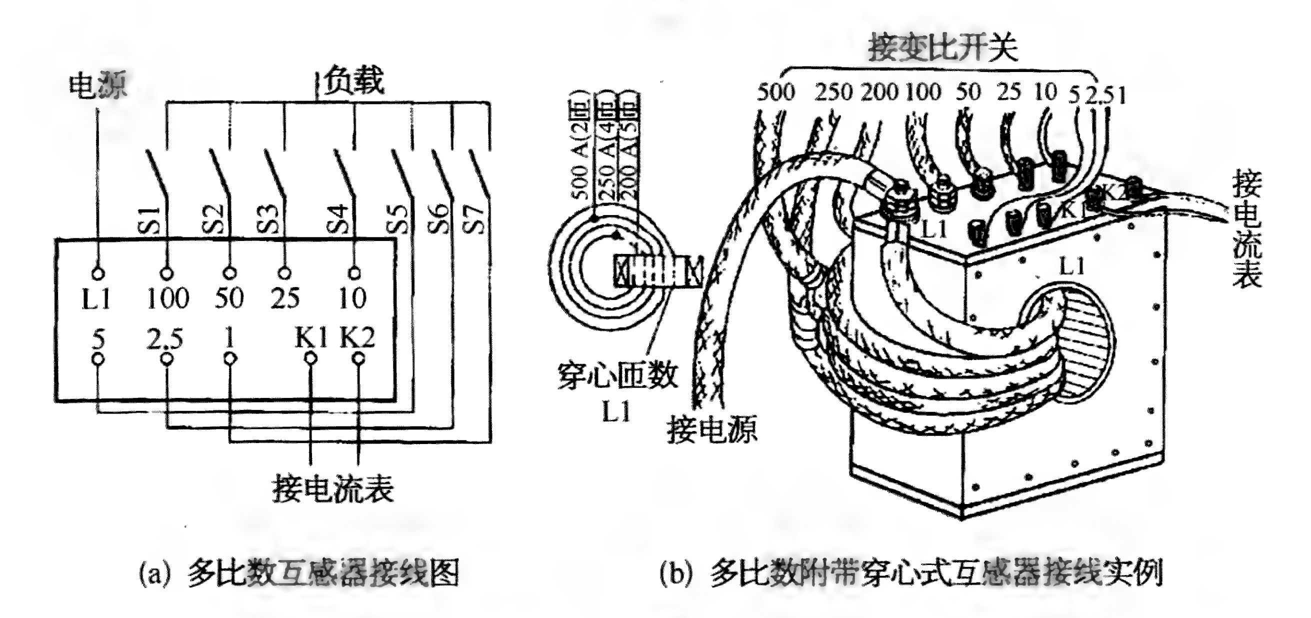


图 3-32 电流互感器穿心匝数示例



(a) 多比数互感器接线图　　(b) 多比数附带穿心式互感器接线实例

图 3-33 电流互感器穿心匝数示例

3.2.11 交流电压表、电压互感器和电压测量

1. 交流电压表

和交流电流表一样，测量交流电的电压表也分为电磁系、电动系和整流系指针表或数字表。图 3-34 给出了部分固定使用的交流电流表。

2. 电压互感器

1）类型

一般电压表可直接测量的电压为 600 V 及以下，个别的可达到 1 000 V。若测量更高的电压，则需要通过电压互感器进行降压后再用普通电压表进行测量。电流互感器的文字符号为“TV”(以前曾用“PT”)。

电压互感器的二次侧额定电压一般为 100 V 或 $100/\sqrt{3}$ V，其一次额定电压用于高压(kV)测量的有 1、2、3、6、10、15 等若干个级别；用于低压(V)测量的有 220、380、440、500、600 等几个级别。图 3-35 给出了几种



(a) 电磁系交流电压表　(b) 整流系交流电压表

(c) 数字式交流电压表

图 3－34　交流电压表外形示例

(a) 单比数低压型　(b) 单比数高压型

(c) 低压霍尔式　(d) 多比数高压型

图 3－35　电压互感器

电压互感器的外形示例。

2）电压测量线路和电压互感器的使用注意事项

(1) 电压表应并联在被测线路的两端。

(2) 电压互感器一次侧绕组线端分别用 A 和 X 标志，并联在被测线路的两端；二次侧的两端分别用 a 和 x 标志，与电压表两个端子相接。

(3) 电压互感器的一、二次侧回路中都应串联适当规格的熔断器，以对电路意外短路起保护作用。

(4) 电压互感器在使用中，其二次侧回路严禁短路，否则将可能对互感器造成较大的损坏。

(5) 为保证安全，二次侧绕组和铁心都应可靠接地。

以上规定和单相、三相电压测量线路如图 3－36 所示。

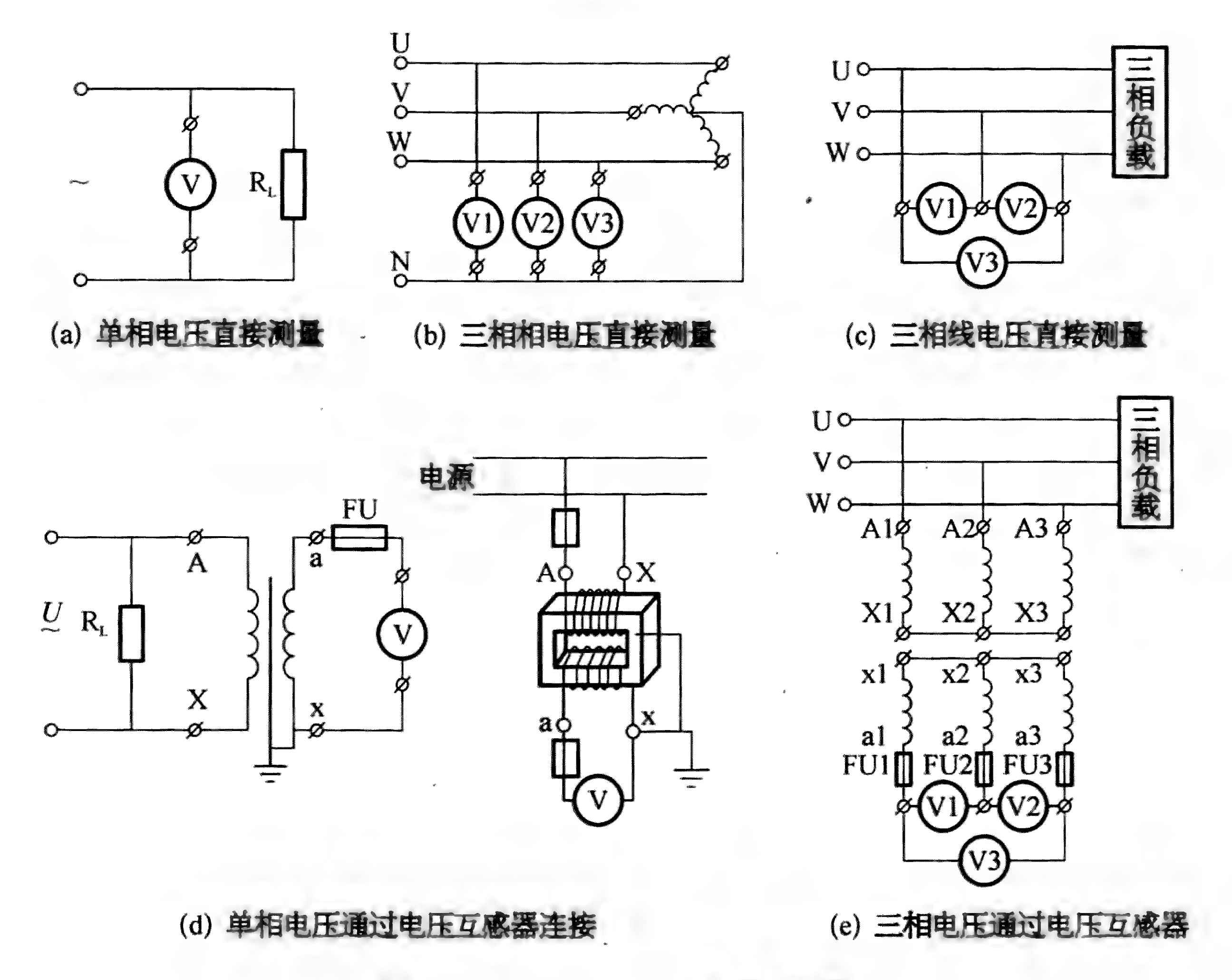


图 3－36　单相和三相电压测量线路

3）用三相转换开关和一只电压表测量三相电压

在三相电压平衡的供电系统中，三相电压可通过一个三相电压转换开关接一个电压表来测量，需要时，通过转换开关的切换来观察每一相电压

的具体情况。该转换开关有专用的产品，型号为LW12－16/9.6911.2(用于三个相电压转换)和LW12－16/9.6912.2(用于3个线电压转换)；也可选用LW5(例如LW5－15YH2/2型)或LW8型万能转换开关，如图3－37所示。

现有一种如图3－38所示自带三相转换旋钮的电压表，使用更加方便。

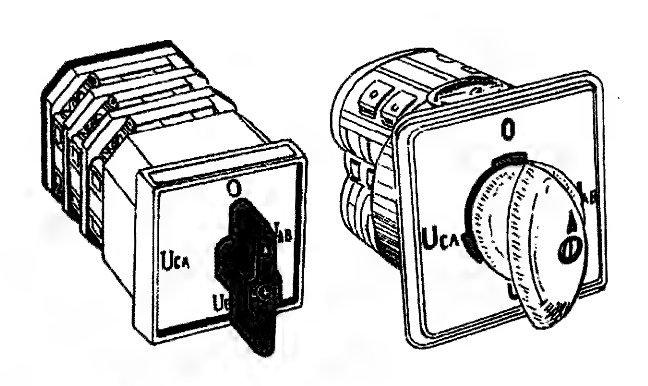


图3－37 LW型三相电压转换开关

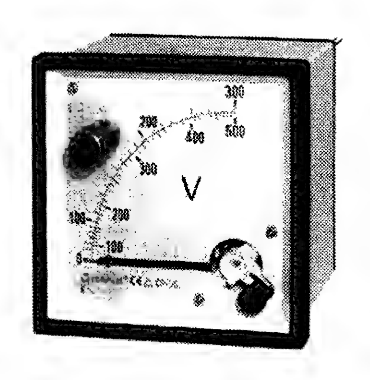


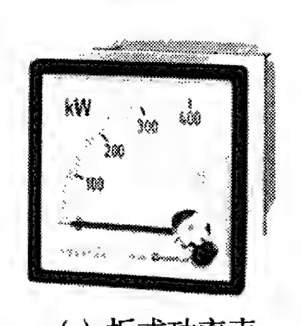
图3－38 自带三相电压转换旋钮的专用电压表

3.2.12 交流功率表和功率测量线路

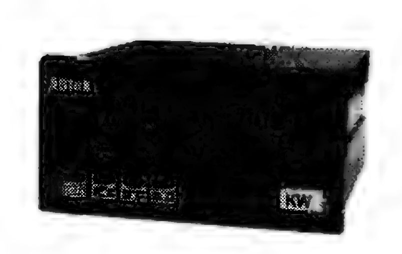
1. 交流功率表

在日常对电机电功率的测量中，除非另有说明，所测的功率一律指有功功率。对于电机试验，可使用指针式电动系功率表或数字功率表。

图3－39为几种交流功率表的外形示例，其中图3－39d给出的是具备同时测量三相电压、电流、功率、功率因数、电源频率的三相复合数字表。



(a) 板式功率表

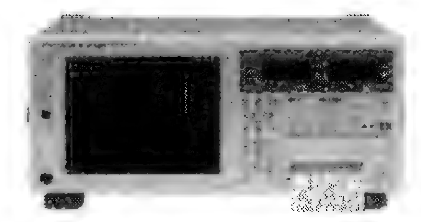


(b) 数字功率表



(c) 便携式单相功率表





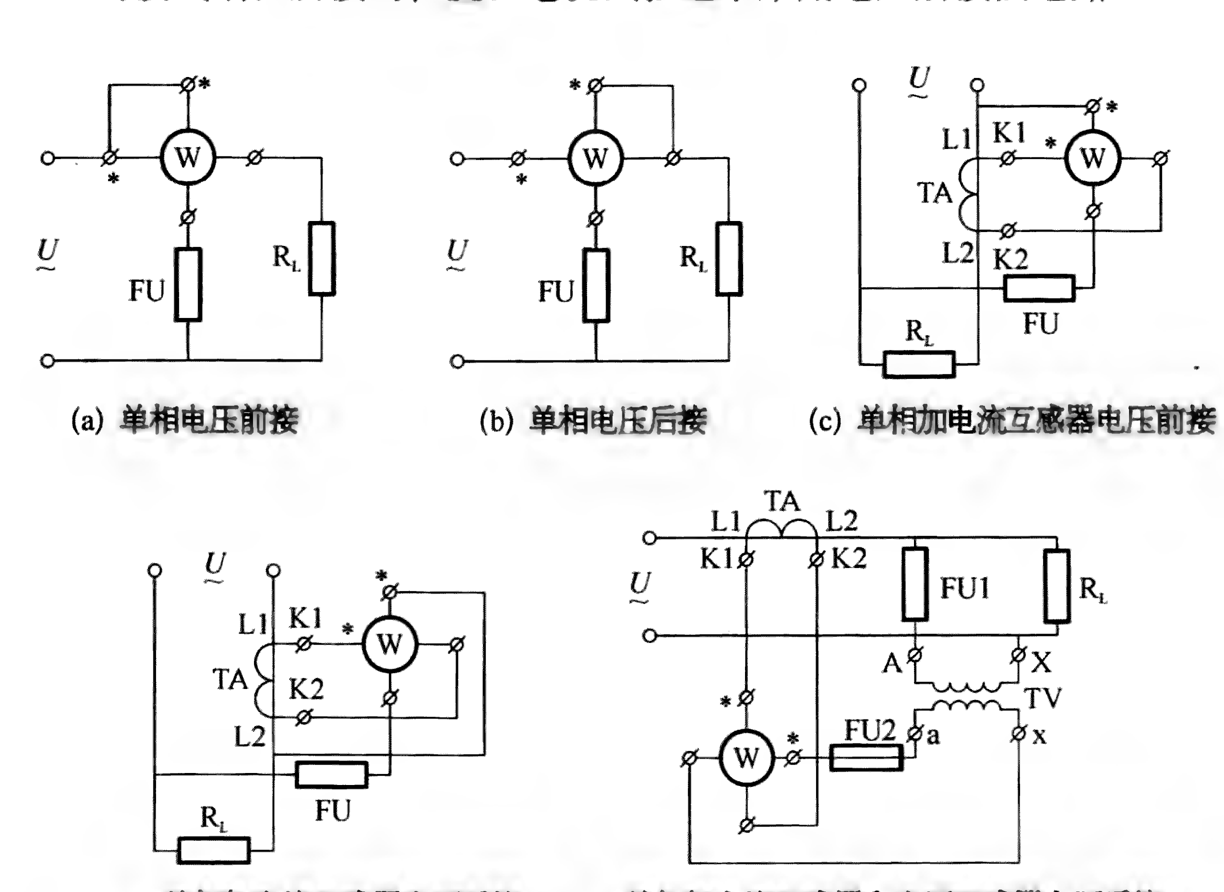
(d) 数字式三相复合（三相电压、电流、功率等）表

图3－39 功率表外形示例

2. 交流功率表的接线方法和注意事项

1）单相功率测量线路

单相功率测量线路如图 3-40 所示。应注意功率表电流和电压带“＊”的接线端钮所接的位置。电机试验通常采用电压后接法电路。



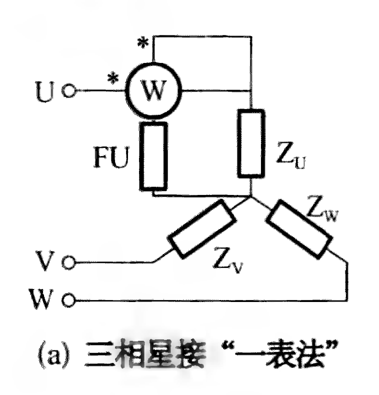
(a) 单相电压前接　(b) 单相电压后接　(c) 单相加电流互感器电压前接

(d) 单相加电流互感器电压后接　(e) 单相加电流互感器和电压互感器电压后接

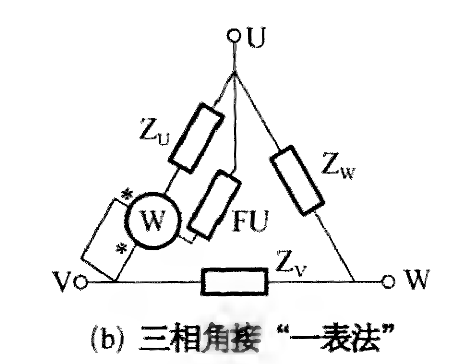
图 3-40　单相功率测量线路

2）三相功率测量线路

用于电动机试验的三相功率测量线路有两种类型，即“两表法”和“三表法”，但较常用的是“两表法”，它适用于各种接法和对称与不对称的三相负载电路，如图 3-41 所示。应注意功率表电流和电压带“＊”的接线端钮所接位置。



(a) 三相星接“一表法”



(b) 三相角接“一表法”

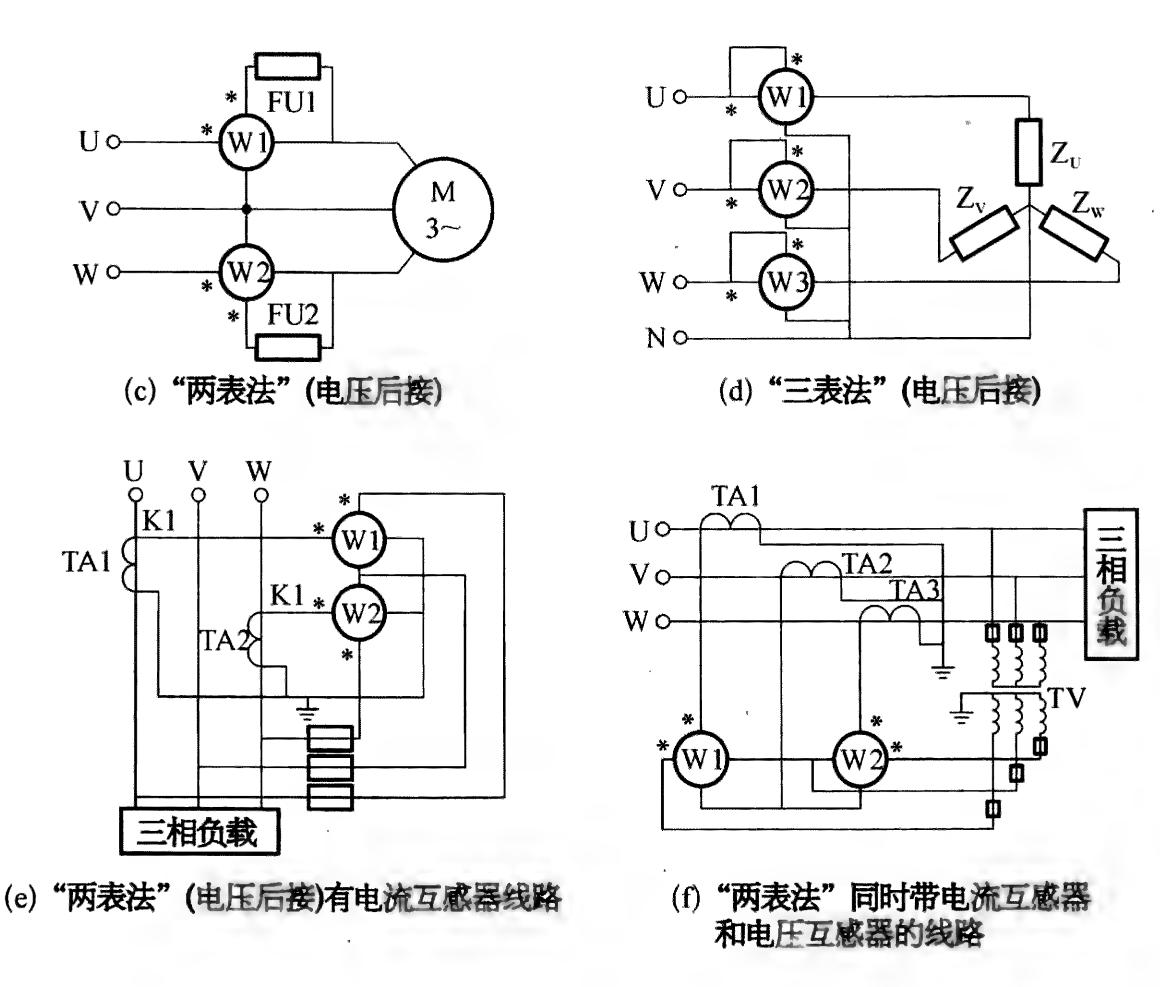


图 3-41 三相功率测量线路

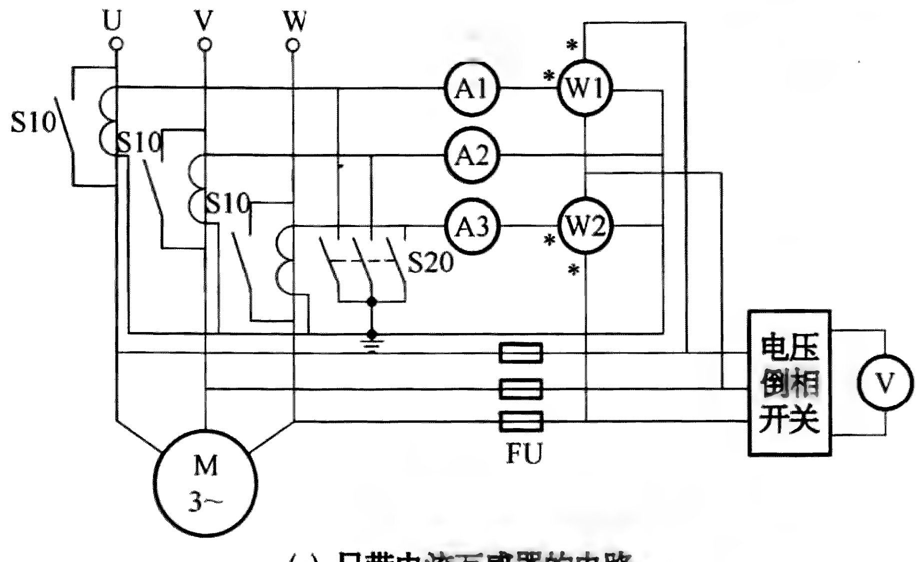
3.2.13 三相电流、电压及功率综合测量线路

三相异步电动机试验一般由三相三线制供电系统供电，三相功率采用两表法测量。低压电机只用电流互感器，每相接一个电流表，一个电压表，通过三相转换开关观察各相的电压。为保护电流互感器、电流表和功率表免受电机起动时大电流的冲击，应在电流互感器二次侧输出端(有必要时，还在电流互感器一次侧两端)加接短路开关(即封表开关和封电流互感器一次侧开关)；电压应设置在电机进线端测量，即采用电压后接法电路。高压电动机则还需要使用电压互感器。使用三相复合式电量数字仪表的接线会简便很多。

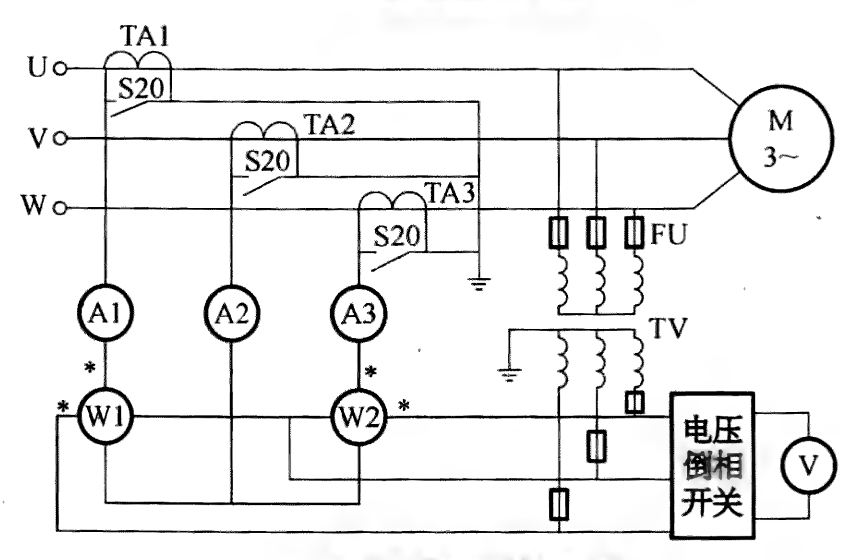
高、低压电机试验三相电流、电压及功率综合测量线路分别如图 3-42a和图 3-42b 所示。实际应用时，电流和电压互感器一般为多比数的接线。

3.2.14 测振仪的种类和使用方法

测振仪用于测量电机运行时所产生的振动值。就其所用的传感元件



(a) 只带电流互感器的电路



(b) 电流电压都带互感器的电路

图 3-42 三相电流、电压、功率综合测量线路

与被测部位的接触方式来分，有靠操作人员的手力接触和磁力吸盘吸引两种；另外有分体式传感器和组合式传感器两种；一般同时具有测量振动振幅（单振幅或双振幅，单位 mm 或 μm）、振动速度（有效值，单位 mm/s）和振动加速度（有效值，单位 m/s^2）三种单位振动量值的功能。图 3-43a 和图 3-43b 给出了三种外形示例。

使用测振仪时，首先根据技术要求确定所使用的单位并进行设置，测量时，用手控制的传感器（测头）轴心线与被测部位接触面垂直，接触应紧密，施加压力应适当，如图 3-43c 所示。对来回摆动的数据，应取其中最高读数作为测量结果。

对于可能远远超过仪器量程的振动，不应使用仪器进行测量，以免造成损坏。

(a) 分体式测振仪示例

(b) 手持一体式测振仪示例

(c) 测量电机的振动数值

图 3-43 测振仪

3.2.15 声级计的种类和使用方法

测量声级的仪器叫声级计，因主要用于测量噪声，所以习惯称其为噪声仪，图 3-44 为几种声级计的外形。现用的声级计一般只能测量噪声的声压级，而很多电机噪声的考核标准为声功率级，所以要将所测声压级数值转换成声功率级值。

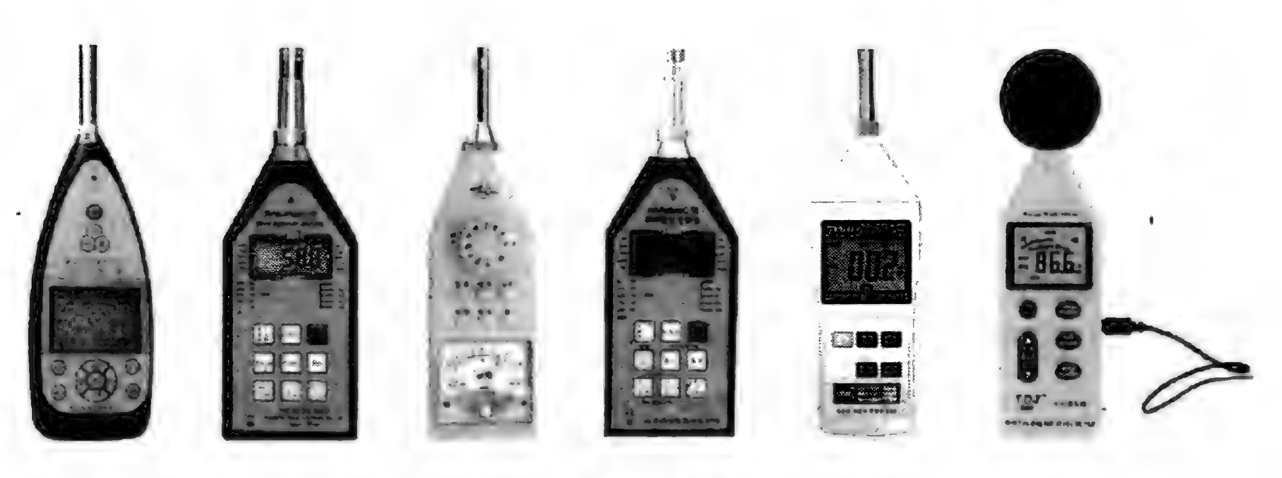


图 3-44 几种声级计(噪声仪)外形示例

测量电机噪声的声级计应设置 A 计权电路(另外还有 B、C 两种计权电路，电机噪声测量时一般不用)，测量范围最小应为 30～120 dB，准确度等级为Ⅰ级(误差在±0.7 dB 以内)。

测量电动机噪声时，应将被测电动机放置在一个相对安静的环境中，具体地说，在电动机没有运转之前，环境的噪声应低于电动机运行时噪声10 dB以上最好，最少也要低4 dB。这样测得的数值才算有效。

3.2.16 温度测量仪器

1. 膨胀式温度计、点温计和红外线测温仪

测量电机外壳和轴承温度的器具有简单的膨胀式温度计、半导体点温计或红外线测温仪等，后两种如图3-45和图3-46所示。有些数字万用表和数字钳形电流表也具备点温计的功能，例如图3-47所示的类型。



图3-45 点温计

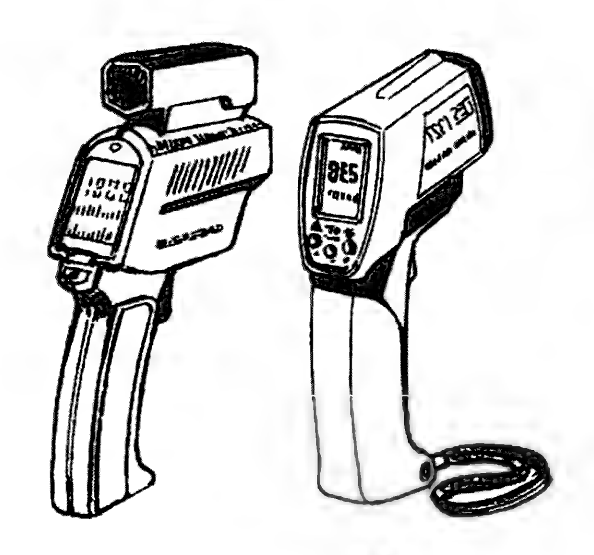


图3-46 红外测温仪



图3-47 具有测温功能的数字式万用表和钳形表示例

用上述测温器具测量温度的方法和注意事项如下：

(1) 可将一只酒精温度计埋在电机的吊环孔内，长期放置，随时可以读取电机铁心的温度。这样得到的数值是最接近电机内部的温度值。“埋”温度计的材料可选用油腻子、中心打孔的软木塞等。如有条件，可用一段与吊环螺孔配套的螺栓，中心打一个可插入温度计的孔，将其旋入到吊环孔内。

(2) 用点温计等测温仪表测量轴承温度时，应尽可能在接近轴承外

圈的部位进行测量。

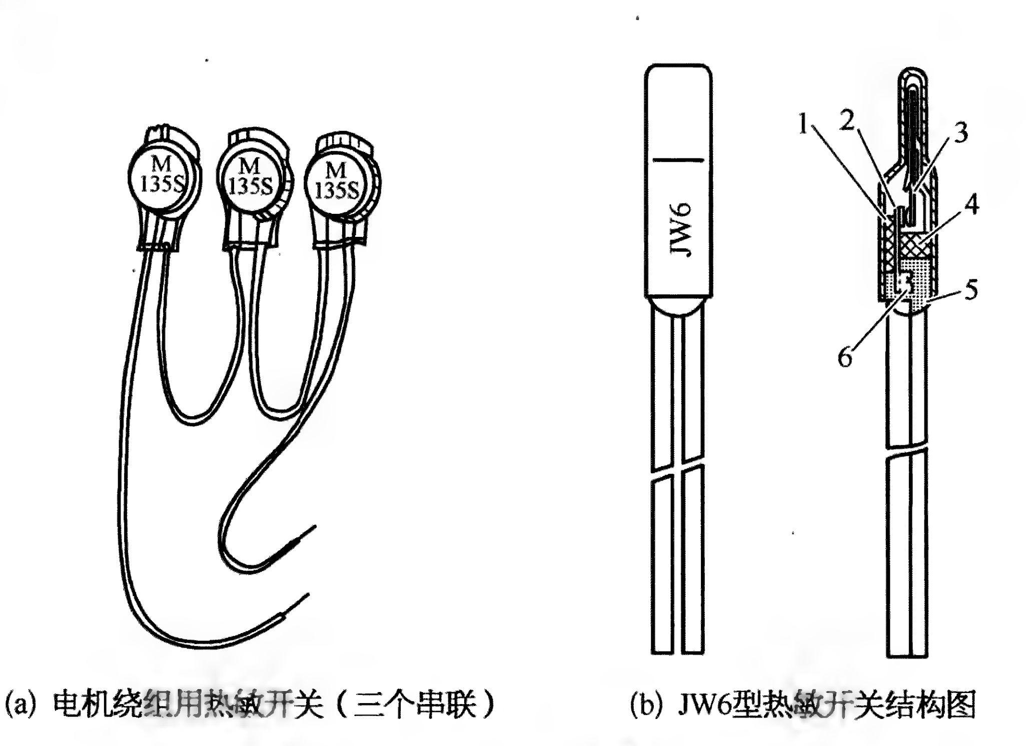
(3) 使用红外线测温仪时，应尽可能做到被测表面与仪器射出的光线垂直，并尽可能接近被测部位。

2. 温度传感器配温度显示仪表

为了监测绕组和轴承等发热元件的运行温度，大容量和使用在特殊场合的电动机，需要在这些元件内(或附近)设置热传感元件。当温度达到预定的数值时，这些元件将直接切断电源控制电路或由和其连接的相关线路元件发出报警或断开电源电路的信号指令，以避免温度继续升高而造成过热损毁事故。这些元件有热敏开关、热敏电阻、热电阻和热电偶等。下面介绍其工作原理和检测方法。

1) 热敏开关

热敏开关外壳内部由一个双金属片和由其控制的一对常闭触点组成，触点的外引线与控制电路相接，如图 3－48 所示。



(a) 电机绕组用热敏开关（三个串联）　　(b) JW6型热敏开关结构图

图 3－48　电机绕组用热敏开关

1—绝缘垫；2—常闭触点；3—双金属片；4—绝缘固定器；5—外壳；6—环氧树脂

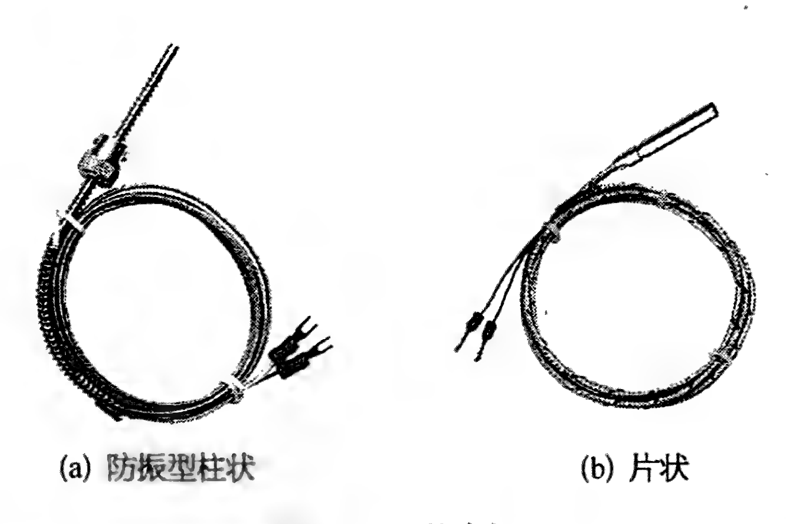
使用时，通过金属外壳将外界的热量传导给双金属片，使其变形弯曲，当温度达到其设定值时(例如 135℃)，双金属变形弯曲到能将常闭触点打开的程度。触点打开后即将切断控制电路，进而断开电机电源供给电路开关(一般为接触器)。可见，热敏开关与热继电器的工作原理完全相同。

常温下，常闭型热敏开关的电阻应为零或接近于零。

2）热电偶

用热电偶进行过热保护的工作原理，是利用热电偶所产生电动势的大小与温度成一定函数关系的特性。将热电偶放置在需要控制温度的发热元件上，热电偶引出线与电机电源控制系统相连接，控制系统根据热电偶所产生电动势的大小来决定对电源电路的保护。

根据需要，热电偶分多种类型，电机常用的两种为 K 型和 T 型。其外形根据放置位置的需要，有片状（放于绕组中）和柱状防振型（放于轴承室内）等多种，如图 3－49 所示。



(a) 防振型柱状　　(b) 片状

图 3－49　热电偶

K 型热电偶是指“K 分度镍铬-镍硅热电偶”。这种热电偶在 0℃时产生的电动势也为 0 V，0～＋200℃时，每相差 1℃，电动势相差约 0.04 mV，例如在 10℃时约为 0.4 mV（按实际分度表给出的数值为 0.397 mV），20℃时约为 0.8 mV，100℃时约为 4 mV。T 分度铜-康铜和 K 分度镍铬-镍硅热电偶分度表（0～＋200℃，冷端温度为 0℃）详见附录 5。

常温下，K 型热电偶的电阻应为零或接近于零。其他类型的热电偶可能有所不同，检查时应按使用说明书或相关资料来决定。应注意，测量热电偶的电阻值时，所加电压应不超过 2.5 V（或按其使用说明书中的规定），电压过高有可能对其产生损害。

3）热敏电阻

热敏电阻是由一些特殊材料制成的一种随着温度变化其电阻数值按一定规律发生变化的电器元件。根据需要，有多种特性的热敏电阻，常用的特性有如图 3－50 所示的 4 种，表 3－1 为各类热敏电阻代表符号、优缺点等内容。用于电机温度控制的为第 3 种正温度系数（简称 PTC）“开关型”特性，其外形如图 3－51 所示。

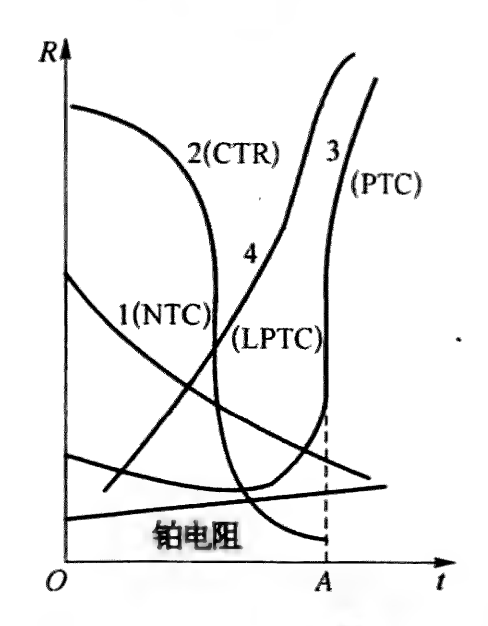


图 3-50 四种常用的热敏电阻特性

1—负温度系数型；2—临界负温度型；
3—开关型；4—缓交变正温度系数型



图 3-51 电机热保护用热敏电阻

表 3-1 各类热敏电阻性能比较

序号	代号	使用温度范围(℃)	优　点	缺　点
1	NTC	−252～900	负电阻温度系数大	工作温度区域宽
2	CTR	55～62	临界温度点变化大	准确度差
3	PTC	−55～200	负电阻温度系数大	工作温度区域窄
4	LPTC	−20～120	线性变化	工作温度区域窄

将 PTC 型热敏电阻串联在控制电路中。在正常温度时，它的电阻保持在一个较小的数值以内，此时通过它的电流能够维持控制电路保证电源电路电磁开关(一般为接触器或中间继电器)闭合。当达到某一温度(图 3-50 温度轴的 *A* 点)之后，其阻值将发生突变性的升高(其特性和晶体二极管的伏-安特性类似)，致使通过它的控制电流迅速减小，达到不能维持电源电路电磁开关闭合的程度，使电源开关断开。

可见，它的控制作用与热敏开关是相同的，所以被称为“开关型”。电机常用的正温度系数开关型(PTC 型)热敏电阻应根据使用规格而定，在常温下一般在 130～220 Ω 之内。

4) 热电阻

热电阻是用一种金属材料制成的热传感元件，较常使用金属材料为铜(Cu)或铂(Pt)。用热电阻进行过热保护的工作原理，是利用金属导体

电阻的阻值在一定的温度范围内与温度成正比关系的特性(图 3-50 中最下面给出的一条标有“铂电阻”的几乎是一条直线的特性曲线)。将热电阻放置在需要控制温度的发热元件上,其两端连接到一个控制电路中,它的阻值变化将影响该控制电路中的电流或者电流流过它以后所产生的电压降,控制系统利用这些信息来决定电路的保护,例如当达到设定值时,断开供电电路或报警。

现比较常用的热电阻是型号为 Pt100 的铂热电阻,其中“Pt”是铂的元素符号,表示铂,“100”表示该电阻在 0℃时的阻值为 100 Ω。

在一定的温度范围之内,铂热电阻的阻值与温度呈线性关系。粗略的关系是温度每变化 1℃,电阻值变化 0.4 Ω。Pt100 型铂热电阻的详细分度值(电阻与温度的关系)详见附录 6。

用下述口诀可便于记忆:

Pt100 铂热阻,零度整整一百欧。

其他温度粗略记,一度相差点四欧。

因为在 0℃时的阻值为 100 Ω,所以其他温度 t(℃)时的电阻值 R_{Pt100}(Ω)计算式为

$$R_{\mathrm{Pt100}} \approx 100\ \Omega + 0.4\ \Omega \cdot t \tag{3-1}$$

例如实际温度 $t=20$℃时,热电阻的阻值 $R_{\mathrm{Pt100}} \approx 100\ \Omega + 0.4\ \Omega \times 20 = 108\ \Omega$(实际分度表给出的数值为 107.9 Ω);实际温度为 $t=-10$℃时,$R_{\mathrm{Pt100}} \approx 100\ \Omega + 0.4\ \Omega \times (-10) = 96\ \Omega$。

实际应用时,经常是用万用表测量其电阻值 R_{Pt100},用来得到热电阻所处位置的温度 t,此时将上述关系反过来就可得到如下的关系式:

$$t = (R_{\mathrm{Pt100}} - 100\ \Omega)/(0.4\ \Omega/℃) \tag{3-2}$$

例如实测电阻值 $R_{\mathrm{Pt100}} = 110\ \Omega$,则热电阻的温度 $t = (110\ \Omega - 100\ \Omega)/(0.4\ \Omega/℃) = 25$℃;实测电阻值 $R_{\mathrm{Pt100}} = 95\ \Omega$,热电阻的温度 $t = (95\ \Omega - 100\ \Omega)/(0.4\ \Omega/℃) = -12.5$℃。

监测热电阻是否正常时,可用万用表×1 Ω 档测量其电阻数值,然后用式(3-2)计算出温度值,再和实测的热电阻所处位置的温度相比较,若相差在 1~2℃(具体允许偏差与所用的产品精度有关)以内,则可认定为正常。

有些国产铂热电阻的代号为 WZP(W 代表温度,Z 代表电阻,P 代表铂)。

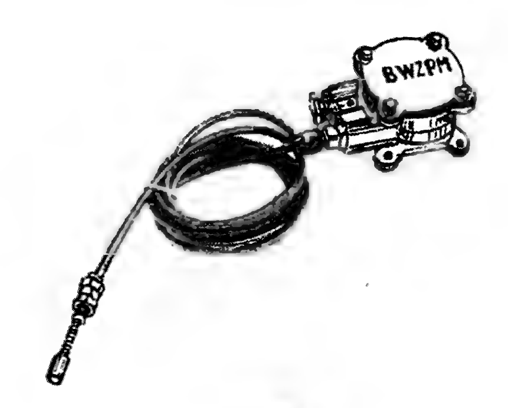
有些国产铜热电阻的代号为WZC(W代表温度,Z代表电阻,C代表铜)。

和热电偶一样,控制电路的动作与否,是由使用人员事先在控制装置中设定的,也就是说与热电阻或热电偶的变化无关,它们只是起一个传递热变化信号的作用。所以也被称为“温度传感器”。

根据需要,热电阻的外形有片状和柱状多种,图3-52是两种防振、防爆型柱状外形。



(a) 防振型柱状

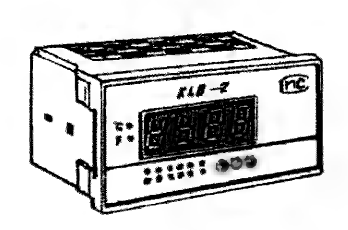


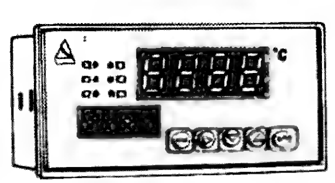
(b) 防爆型柱状

图3-52 热电阻的外形

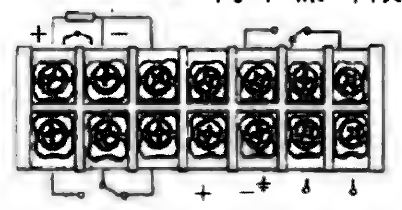
5）温度显示仪表和控制继电器

图3-53给出了部分与热电阻或热电偶配套的显示温度与控制电路动作的仪表和控制器。其控制温度可设置上下限,当实测温度超过设定

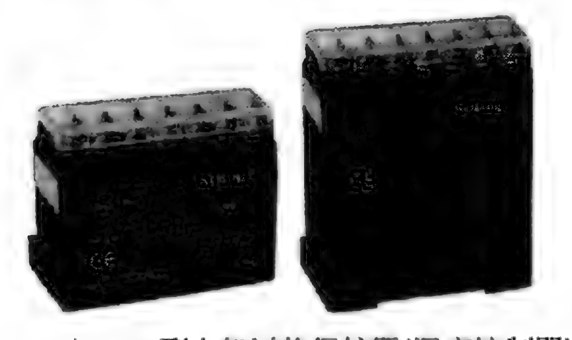




(a) KLB型温度显示与控制仪表



(b) 仪表的接线端子



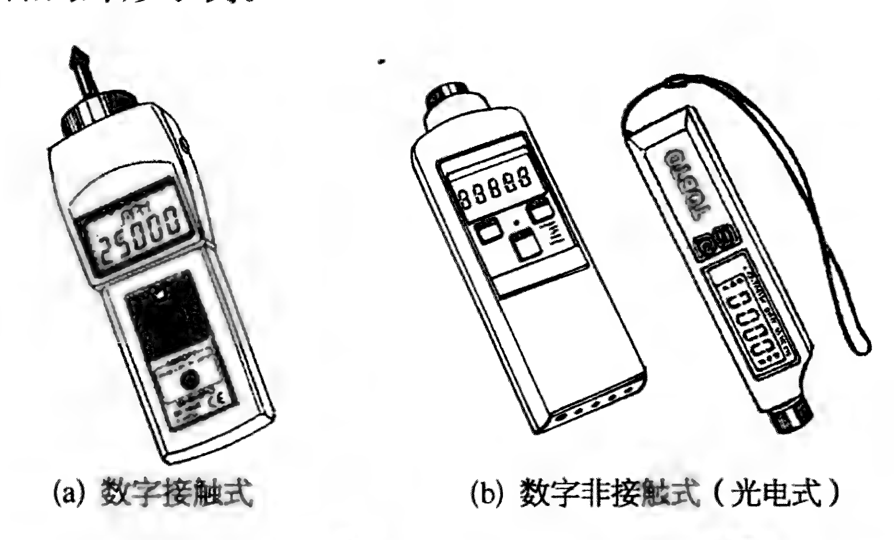
(c) GRB型电机过热保护器(温度控制器)

图3-53 热敏电阻、热电偶和热电阻温度显示及控制器

数值时，继电器将直接切断电机的控制电路或发出报警信号。图 3 - 53b 所示仪表接线端子中的“out”为输出信号外接端子；“中”和“相”为单相交流电源(220 V)中性线和相线接线端子(仪表电源输入端子)。

3.2.17 转速表和转速的测量

测量电动机转速的仪表，按在测量时是否与电动机旋转部分接触分为接触式和非接触式两种类型；按转速显示的方式，分为指针式和数字式两种；另外还可分为机械离心式和电子反光式等。图 3 - 54 给出了部分便携式产品的外形示例。



(a) 数字接触式　　(b) 数字非接触式（光电式）

图 3 - 54 便携式转速表和电动机的转速测量

用数字反光式转速表测量，一般在电动机的轴伸端或联轴节处进行，应事先在轴伸或联轴节上贴一片专用的反光片，测量时，转速表射出的光线应打在该反光片上；用接触式转速表测量，需要将转速表的橡胶头顶在轴伸端的中心孔中，用力要适当。

3.2.18 无转速表时的转速测量器具及测量方法

1. 理论根据

当无转速表可用时，可用下述几种简易器具测定电机转差率，再利用转速与转差率的关系求出转速。在计算中要知道电机的极数($2p$，p 为极对数)和所用电源的频率 f(Hz)。

交流异步电动机的转差率(符号为 s)是该类电机的一个极其重要的性能参数，它是电机的转子转速 n(r/min)与定子旋转磁场的转速 n_s(称为异步电动机的同步转速，单位为 r/min)之差占定子旋转磁场转速的百分数。用算式表示为

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \tag{3-3}$$

$$n_s = \frac{60f}{p} \tag{3-4}$$

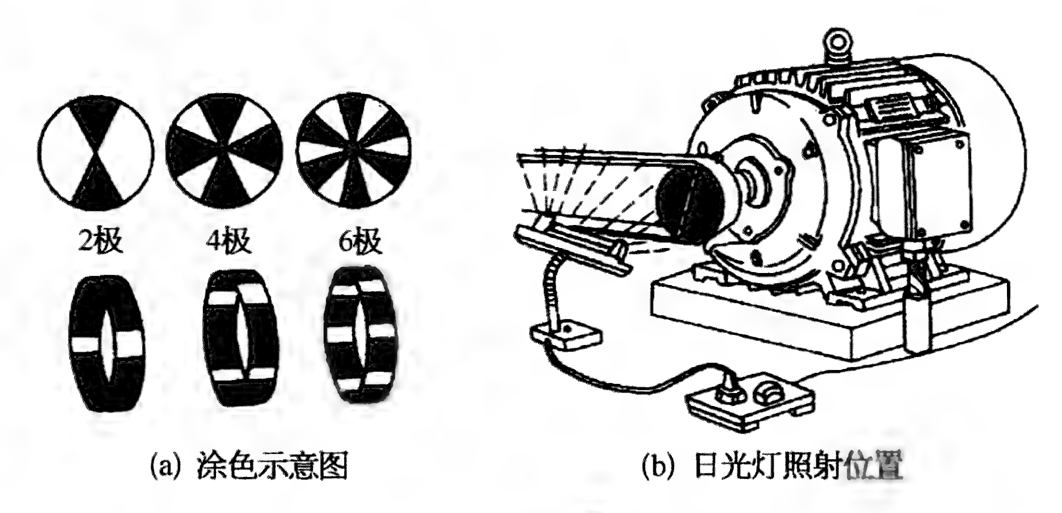
由上式可得出利用转差率 s 求出转速 n 的关系式如下：

$$n = n_s(1 - s) \tag{3-5}$$

电源的频率 f(Hz)可用额定值，例如 50 Hz 或 60 Hz。

2. 日光灯闪光法

(1) 安装在被试电机轴伸端的带轮端面或联轴节的侧面，用油漆或其他染料涂上黑白相间的扇形面或横道，分割数量与电机的极数相同，如图 3-55a 所示。



(a) 涂色示意图　　(b) 日光灯照射位置

图 3-55　用日光灯闪光测转法测取异步电动机的转差率

(2) 用与被试电机相同的电源供电的一台日光灯照射上述涂色的部位。此时，若电机加电运转，将可看到皮带轮端面或联轴节侧面有一条白线在缓慢地旋转。如图 3-55b 所示。

(3) 当电机的负载调定后，用秒表记录上述白道旋转 N 转所用的时间 t(s)。

(4) 用下式计算被试电机的转速 n(r/min)。

$$n = n_s\left(1 - \frac{pN}{2tf}\right) \tag{3-6}$$

3. 感应线圈法

(1) 在电机的机座旁安放一个带铁心的多匝线圈(2 000 匝以上，可

用交流接触器的线圈),线圈两端接一只"0"位在中心的磁电系毫伏表或指针式检流计,如图 3-56 所示。

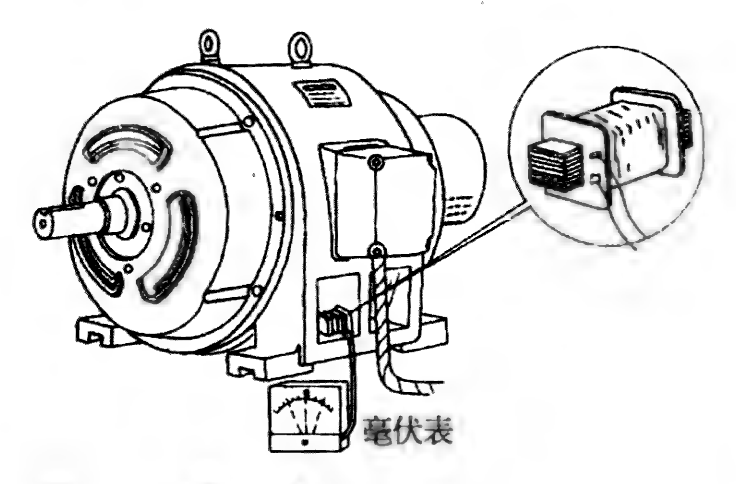


图 3-56 感应线圈法测量异步电动机的转差率

(2) 在电机通电运行时,上述仪表的指针将在中心位置左右按一定的周期来回摆动。用秒表记录仪表指针摆动 N 次所用的时间 t(s)。摆动一次的概念是:指针从中心位置("0"刻度位置)向一侧摆动到最大,再回到中心位置;再向另一侧摆动到最大,再回到中心位置。

(3) 用下式计算被试电机的转速 n(r/min)。式中 f 为电源频率,单位为 Hz。

$$n = n_s\left(1 - \frac{N}{tf}\right) \tag{3-7}$$

3.2.19 测量变频器输入、输出电压和电流的问题

由于变频器的输入、输出电压和电流(特别是电压)不是正弦波(图 3-57 给出的是一种较典型的波形),所以使用普通交流仪表不能准确地

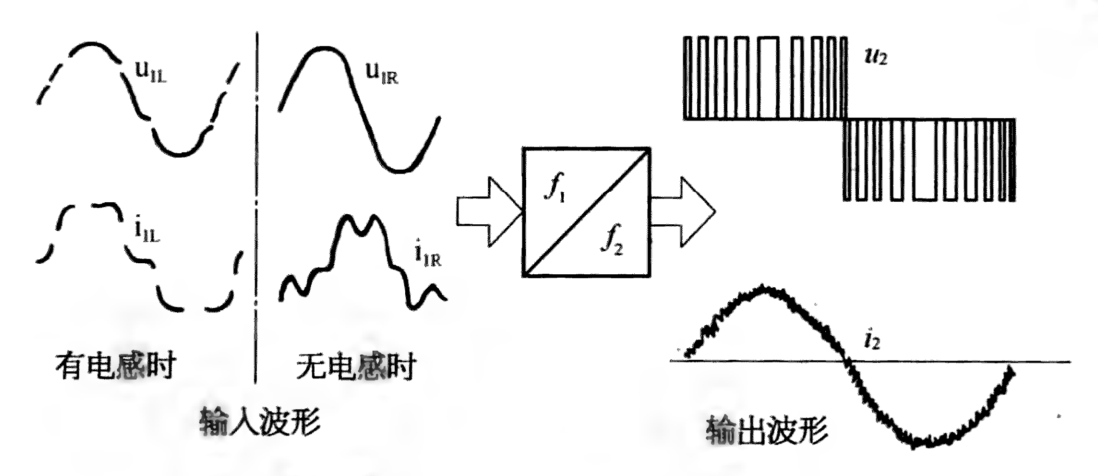
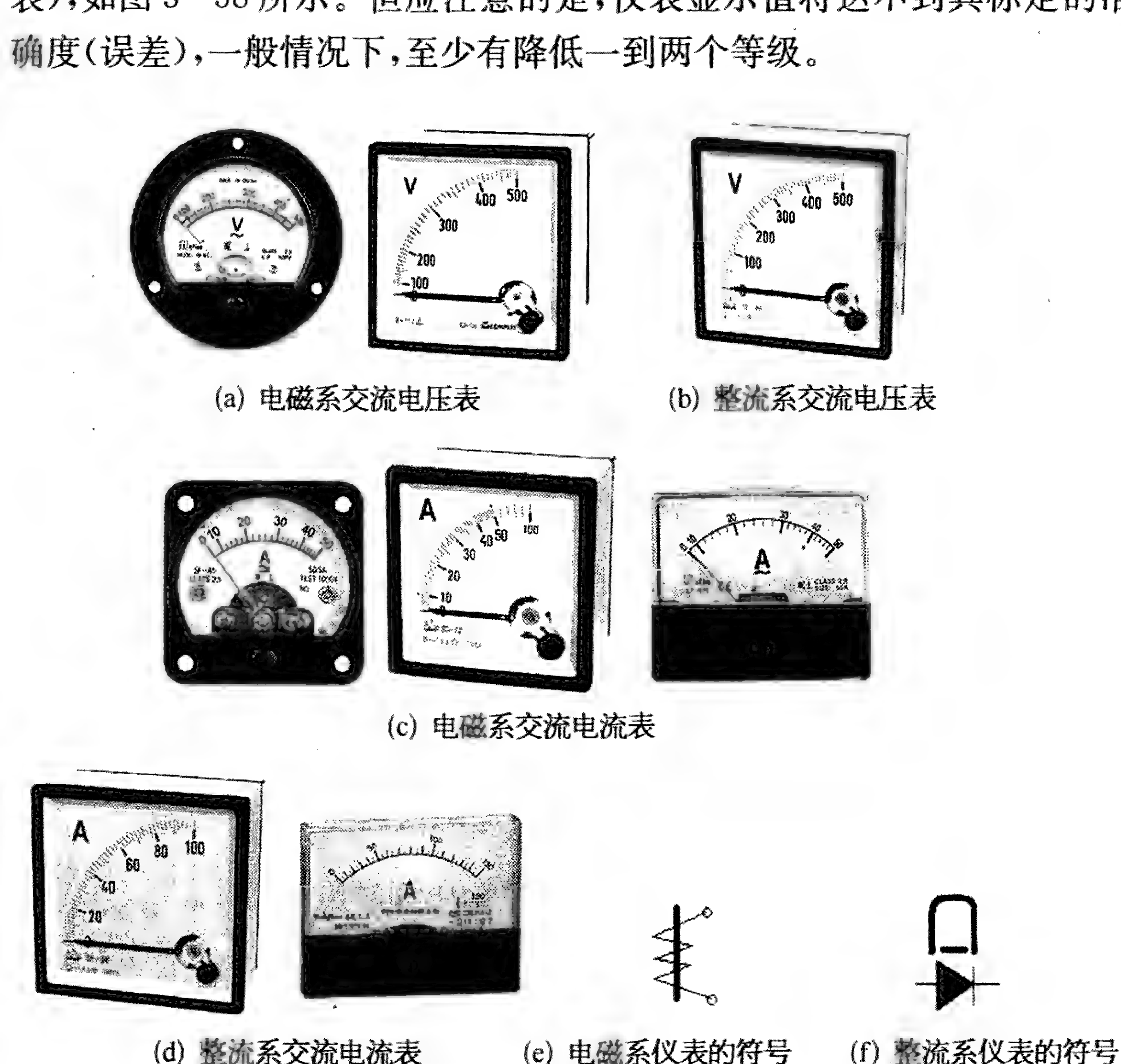


图 3-57 用变频电源给三相异步电动机供电时的电压与电流典型波形

测量出它的有效值（尤其是变频器的输出电压），特别是普通数字仪表，在测量输出电压时，就连“基本准确”的读数都不能得到。

要得到准确的数值，应使用可适应频率范围为0到几千甚至几万赫兹的专用数字表。这种仪表比较昂贵。如不能达到上述条件，可根据情况，选用常规的电磁系（表盘刻度不均匀，20%量程以下不容易读数）或整流系指针式仪表（表盘刻度均匀。指针式万用表的表头即为整流系仪表），如图3-58所示。但应注意的是，仪表显示值将达不到其标定的准确度（误差），一般情况下，至少有降低一到两个等级。



(a) 电磁系交流电压表　(b) 整流系交流电压表

(c) 电磁系交流电流表

(d) 整流系交流电流表　(e) 电磁系仪表的符号　(f) 整流系仪表的符号

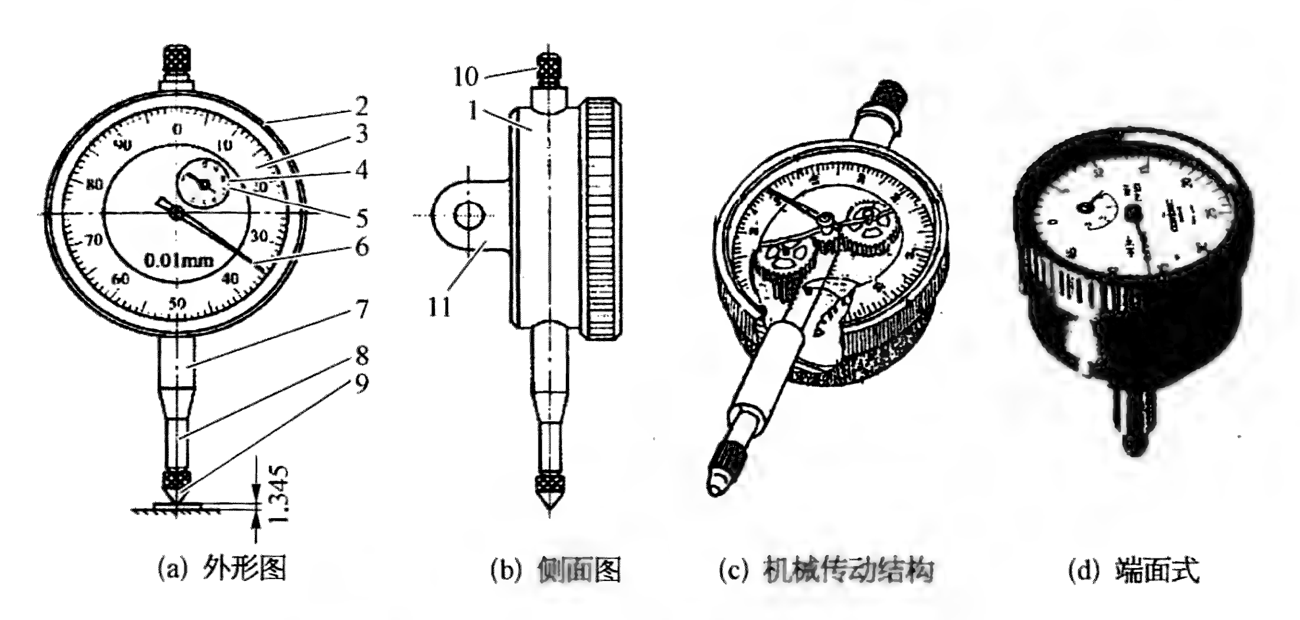
图3-58　电磁系和整流系指针式交流电压表和电流表

3.2.20　百分表

电机轴伸和绕线转子电机的集电环、凸缘端盖止口对轴线的径向圆跳动以及凸缘端盖止口平面的轴向跳动是否符合要求，需用百分表进行测量得知。

1. 百分表的类型

百分表分机械式和数显式两大类，如图 3-59 和图 3-60 所示。百分表的分度值为 0.01 mm，即百分之一毫米，这也是其名称的由来。



(a) 外形图 (b) 侧面图 (c) 机械传动结构 (d) 端面式

图 3-59 机械式百分表的外形和结构

1—表体；2—表圈；3—表盘；4—转数指示盘；5—转速指针；6—指针；7—套筒；8—测量杆；9—测量头；10—挡帽；11—耳环(有的品种没有此部件)

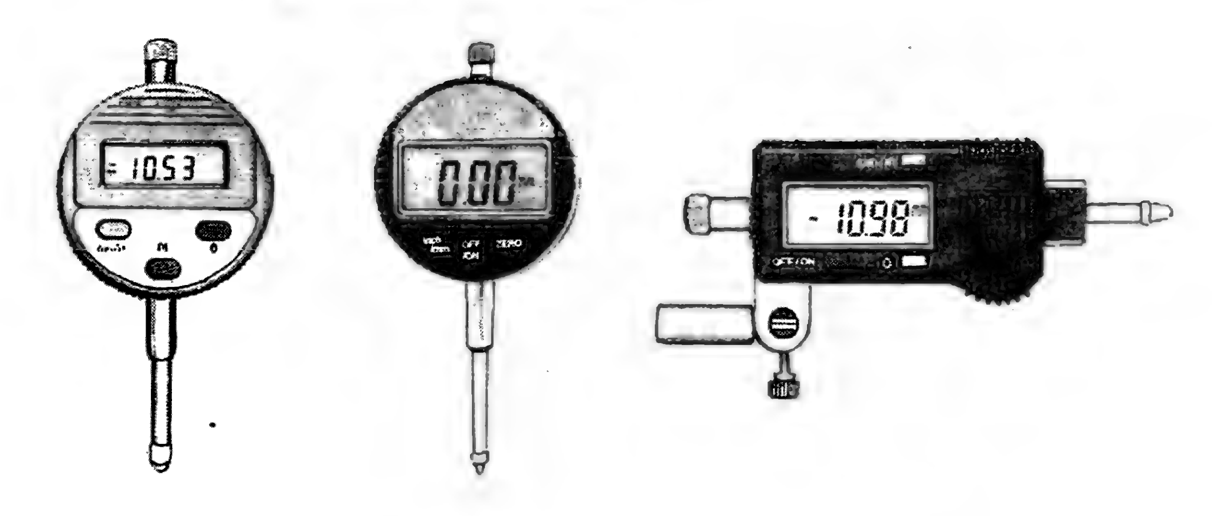


图 3-60 数显式百分表示例

(1) 机械式百分表(以下简称为“百分表”)是将测量杆的直线位移，通过机械传动系统转变为指针在表盘上的角位移进行读数的通用长度测量工具，其机械传动系统有齿条-齿轮、杠杆-齿轮和蜗杆-蜗轮三种传动方式，其外形和机械传动系统采用齿条-齿轮结构的示例如图 3-59c 所示，图 3-59d 给出了一种端面式百分表，它可用于特殊的场合，使读数方便。常用三种测量范围分别为 0～3 mm、0～5 mm 和 0～10 mm。

(2) 数显式百分表和千分表的外形与普通机械式不同点是其表盘为

数字显示器和几个按键，而不是刻度盘和指针。其使用与维护方法与机械式的基本相同，但它在调“0”方面更加方便，另外还具有可直接读数、米制和英制数值转换、数据保存和传输等多种优点。测量范围有 0～5 mm、0～30 mm 和 0～50 mm 等多种。

2. 机械式百分表的使用方法

1）使用前的准备工作

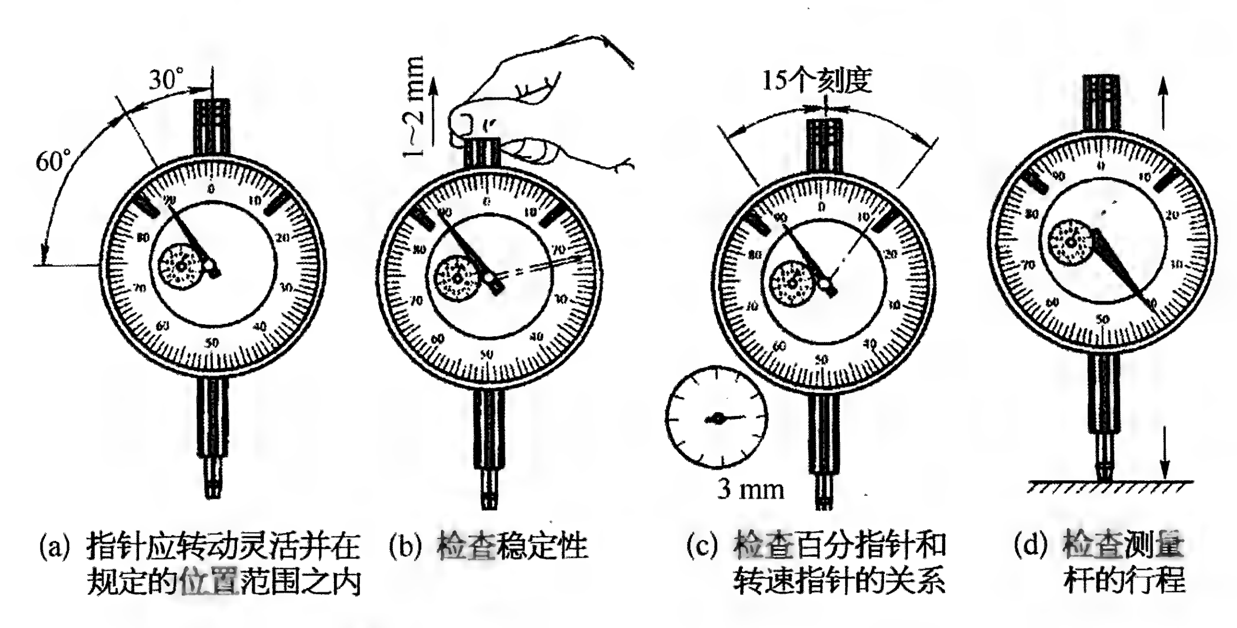
使用机械式百分表进行测量之前的准备工作有如下几项：

（1）检查测量平台或测量平面、百分表的支架底面、被测量工件的表面是否有毛刺、碰伤或脏物等，如有，应彻底进行清理。

（2）根据被测部位和尺寸，对支架安装表的位置进行粗调，可采用万能表架或磁力表架。

（3）检查所用的百分表，擦净其测量头、测量杆和套筒，然后对百分表进行下列检查和调整。

① 检查百分表的指针是否转动灵活和在规定的位置范围之内。在测量杆处于自由状态时，指针应位于从“0”位反时针方向 30°～90°，如图 3-61a 所示。如果在其他位置，则不符合要求，应送量具检修部门进行检定修理。



(a) 指针应转动灵活并在规定的位置范围之内　(b) 检查稳定性　(c) 检查百分指针和转速指针的关系　(d) 检查测量杆的行程

图 3-61　检查机械式百分表的四个项目

② 检查百分表的稳定性，用两个手指捏住测量杆上端的挡帽，轻轻提拉 1～2 mm 几次，看每次表针是否都能回到原位（即测量杆处于自由状态时，指针所在的位置）。如未回到原位，但距原位相差不大于±0.003 mm，则是允许的，如图 3-61b 所示；否则说明该百分表的稳定性不合格，不能

使用。

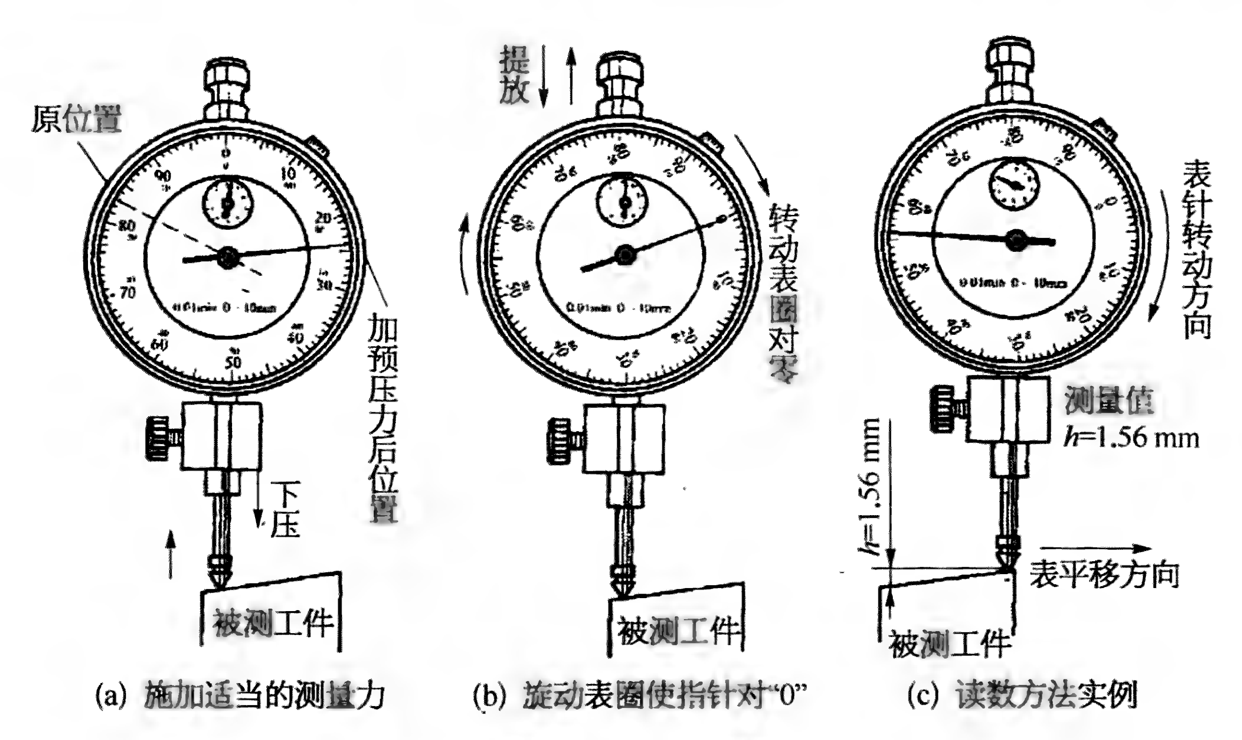
③ 检查百分表指针和转速指针的关系，对具有转数指针的百分表，当转数指针指示在整转数时，指针偏离“0”位应不大于 15 个刻度，如图 3－61c 所示。

④ 检查百分表测量杆的行程，该行程应符合下述要求：

测量范围为 0～3 mm 的百分表，测量杆的行程至少应超过工作行程终点 0.3 mm；测量范围为 0～5 mm 和 0～10 mm 的百分表，测量杆的行程至少应超过工作行程终点 0.5 mm，如图 3－61d 所示。

(4) 检查完百分表并符合要求之后，将其固定在支架上。若采用夹持套筒的方法来固定百分表时，则夹紧力要适当，既要夹牢又要不至于使套筒变形，以免造成测量杆卡住或移动不灵活的现象，夹紧后就不准再转动百分表，如需要转动表的方向，则必须先松开夹紧装置。

(5) 调整百分表测量头的位置，使其与被测量面接触，要求具有适当的测量力(或称之为“预压力”)。所谓适当的测量力，一般是指：在测量头压到被测量面上之后，表针顺时针转动半圈至一圈左右(相当于测量杆有 0.3～1 mm 的压缩量，称为“预压量”)，即所谓的“压半圈”或“压一圈”，如图 3－62a 所示。



(a) 施加适当的测量力　(b) 旋动表圈使指针对“0”　(c) 读数方法实例

图 3－62　机械式百分表的调整和读数方法

在比较测量时，如果存在负向偏差，预压量还要增大些，使指针有一定的指示余量，这样，在测量过程中，既能指示出正偏差，又能指示出负偏

差，而且仍可保持一定的测量力，否则负的偏差就可能测不出来，还要调整，浪费时间。

之后，再按上述检查百分表稳定性的方法检查一次，若符合要求则可开始进行测量。

2）读数方法和注意事项

以图 3－62 所示的状态为例，介绍百分表的读数方法和注意事项。

测量时 1/100 mm 指针（以下称为大针）和转数指针（以下称为小针）的位置都在变化。测量杆移动 0.01 mm 时，大针转动一小格，所以被测尺寸数值毫米的小数部分可以从大指示盘上读出；测量杆移动 1 mm，大针将转动一圈，小针移动一个格，所以被测尺寸数值毫米的整数部分可以从转数指示盘上读出。图 3－62c 显示为 1.5 个格左右，所以毫米整数为 1。

应当注意的是：读数时不管是小针还是大针，都必须从离开起始位置的格数来读得。如图 3－62 中所示，指针的起始位置是"0"时，则数值毫米的小数部分是 0.56 mm。若指针指在两个小格之间，则用估读的方法得出最后一位数值。

把上述整数和小数两部分的读数相加，即得到测量值为 1.56 mm。

另外，还应知道，大针的转动方向与测量杆的移动方向是有固定关系的，当测量头向下时，测量杆向上移动，指针顺时针方向转动，反之，指针逆时针方向转动。在比较测量或误差检验时，要注意测得的数值正负关系不要搞错。

读数时，要在指针停止摆动后开始，眼睛的视线要垂直于表盘，即正对着指针来读数，否则会由于偏视造成一定的读数误差。

3.2.21 测量电机轴伸对轴线的径向圆跳动

电机轴伸对轴线的径向圆跳动的大小是轴伸偏离理论轴中心线的程度。一些采用刚性安装的机械对其要求较高。若达不到要求，就会造成设备的较大振动，有时甚至不能工作。

电机行业标准中规定的普通用途电机本项指标限值见附录 7。

测量这项数据一般使用百分表。测量方法和注意事项如下：

（1）将百分表安装在带磁力座的表架（如图 3－63 所示）上，将磁力座吸附在靠近被测点铁质平台或铁质电机端盖上。

（2）调整百分表支杆，使表的测量杆头接触到测量点。对于轴伸和集电环，测点应位于其轴向长度或宽度的中点处。如图 3－64 所示。



图 3-63 带磁力座的表架

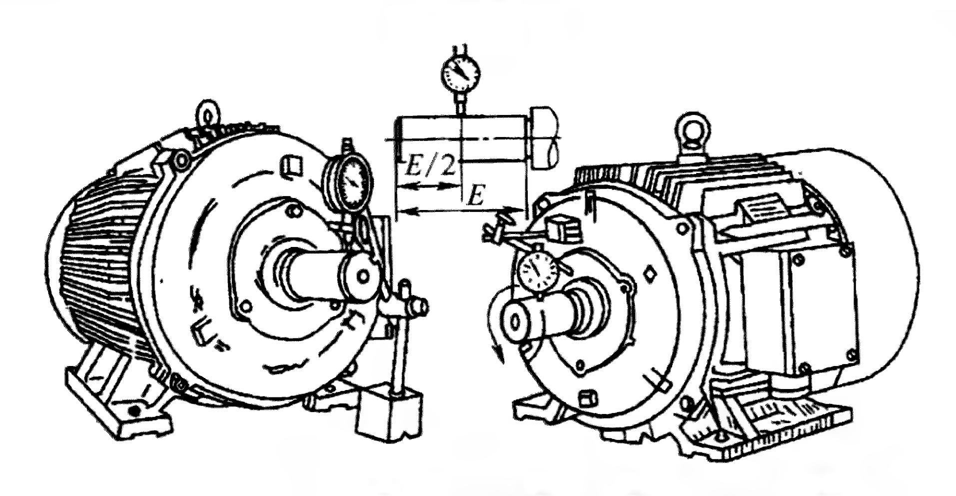


图 3-64 用百分表测量电动机轴伸对轴线的径向圆跳动

(3) 给百分表加一定的预压力后，拧紧各折点处螺钉，并将百分表的表圈 0 位对准指针。

(4) 缓慢盘动电机轴一周(对于轴伸应避开键槽，以免损坏表头)，记录表指针的最大摆动范围，即为被测轴伸的径向圆跳动值。例如指针摆动在+0.02～−0.03 mm，则摆动范围为 0.05 mm，也就是说径向圆跳动值为 0.05 mm。

3.2.22 测量电机凸缘端盖止口对轴线的径向和轴向跳动

测量时，应将百分表的表架通过磁力表座固定在轴伸上。

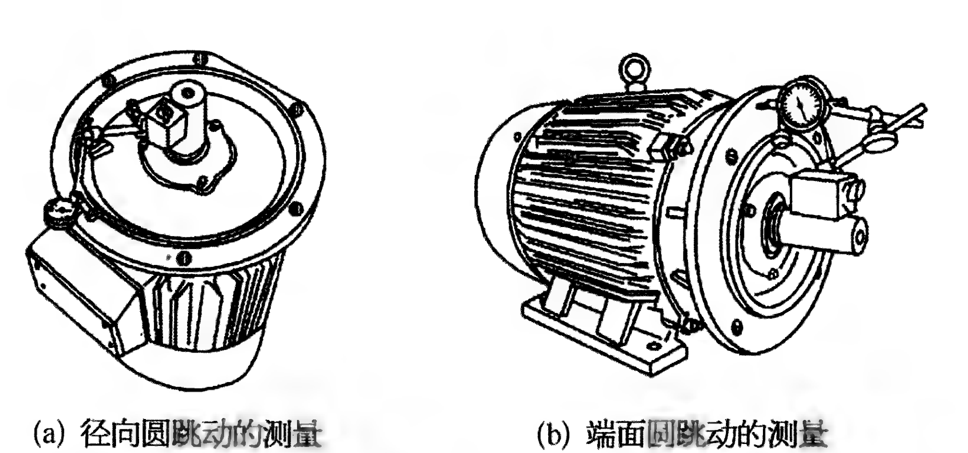
1. 凸缘端盖止口对电机轴线径向圆跳动的测量

有一个问题需要引起注意，就是由于所用轴承径向游隙的存在，若测量时被测电机卧式放置时，将会因转子在其重力的作用下下沉，而使其轴线偏离中心位置(理论偏离值即为所用轴承径向游隙的 1/2)而造

成测量值的方法误差，给最后结果的判定带来一定的困难，甚至产生误判。较公认的放置方法是将被测电机的凸缘端盖朝上，即使电机轴线与地面垂直。

将百分表的测头抵在凸缘端盖止口的侧面上，调整好百分表的位置和测量力后将其固定在一个位置，调整表罩，使其指针指到零位上。

用手缓慢地旋动转轴一周，记录下百分表指示的最大值和最小值，两值之差(即表针摆动的范围)即为凸缘端盖止口对电机轴线径向圆跳动数值，如图 3-65a 所示。例如：径向圆跳动值为 0.06 mm－(－0.03 mm)＝0.09 mm。



(a) 径向圆跳动的测量　　(b) 端面圆跳动的测量

图 3-65　测量电机凸缘端盖止口对轴线的径向和轴向跳动

2. 凸缘端盖止口对电机轴线端面圆跳动的测量

测量凸缘端盖止口对电机轴线端面圆跳动方法与测量径向的方法基本相同，不同点只在于千分表的测头应放置在止口的端面上，如图 3-65b 所示。

例如：端面圆跳动值为 0.04 mm－(－0.03 mm)＝0.07 mm。

普通用途电机的这两项指标限值见附录 8。

3.3　常见故障、原因和确定方法

电动机故障大体上可分为电气故障和机械故障两大类。有些故障的原因可通过其所反映的现象，利用人的感官很容易地确定，例如某些异常的噪声；有些则需要利用仪器设备，并结合使用者的经验综合判定，必要时还需对故障电机进行“解剖”。下面介绍这些方法，其中涉及的大部分仪器仪表的选用和使用方法在本章前面已经介绍，没有介绍的将在以后逐步给出。

3.3.1 通电后不起动或缓慢转动并发出“嗡嗡”的异常声响

(1) 电源电压过低。其原因有以下几个方面：

① 供电电源电压过低。

② 电源线电阻过大(较长或较细)，造成压降过多，使电动机所得到的电压过低。

③ 对使用降压起动的，降压数值超过了所需起动转矩的电压数值。

④ 三相绕组本应接成三角形的，接成了星形。

(2) 配电设备中有一相电路未接通或接触不良。问题一般发生在熔断器、开关触点或导线接点处。例如熔断器的熔丝熔断、接触器或空气开关三相触点接触压力不均衡、导线连接点松动或氧化等。此时电流将严重不平衡。

(3) 电机内有一相电路未接通。问题一般发生在接线部位。如连接片未压紧(螺钉松动)、引出线与接线柱之间垫有绝缘套管等绝缘物质、电机内部接线漏接或接点松动、一相绕组有断路故障等。此时电流将严重不平衡。

(4) 绕组内有严重的匝间、相间短路或对地短路。此时电流将不平衡。

(5) 转子有严重的“细条”或“断条”故障。对于绕线转子，有短路、断路等故障。此时电流将不平衡。

(6) 定、转子严重相擦(俗称“扫膛”)。

(7) 起动时所带负载过重(负载本身或传动机构等原因)。

3.3.2 起动时，断路器很快跳闸或熔断器熔体熔断

起动时，断路器很快跳闸或熔断器熔体熔断，在很多情况下是负载的原因，例如负载过重，包括意外的机械阻力(例如传动机构中进入异物)和调整不当(例如鼓风机的风门开启过大)等。下面讲述的是排除负载之外的内容。

(1) 3.3.1 项所述的(2)、(3)、(4)、(6)。

(2) 电源电压过高，造成起动电流较大，需调低电压。

(3) 断路器瞬时过流保护设定得较小，需重新调整。

(4) 对于使用计算机采样(电流)的，采样时刻距通电时刻的时间较短。

(5) 使用热敏开关作热保护元件的，将本应“常闭状态”为正常温度，错认为“常开状态”为正常温度，或热敏开关本身损坏(原本就断路或线路发生断路)。使用其他热保护元件的，元件本身损坏或线路发生短路或断

路故障。这些问题在自动控制系统中比较容易发生。

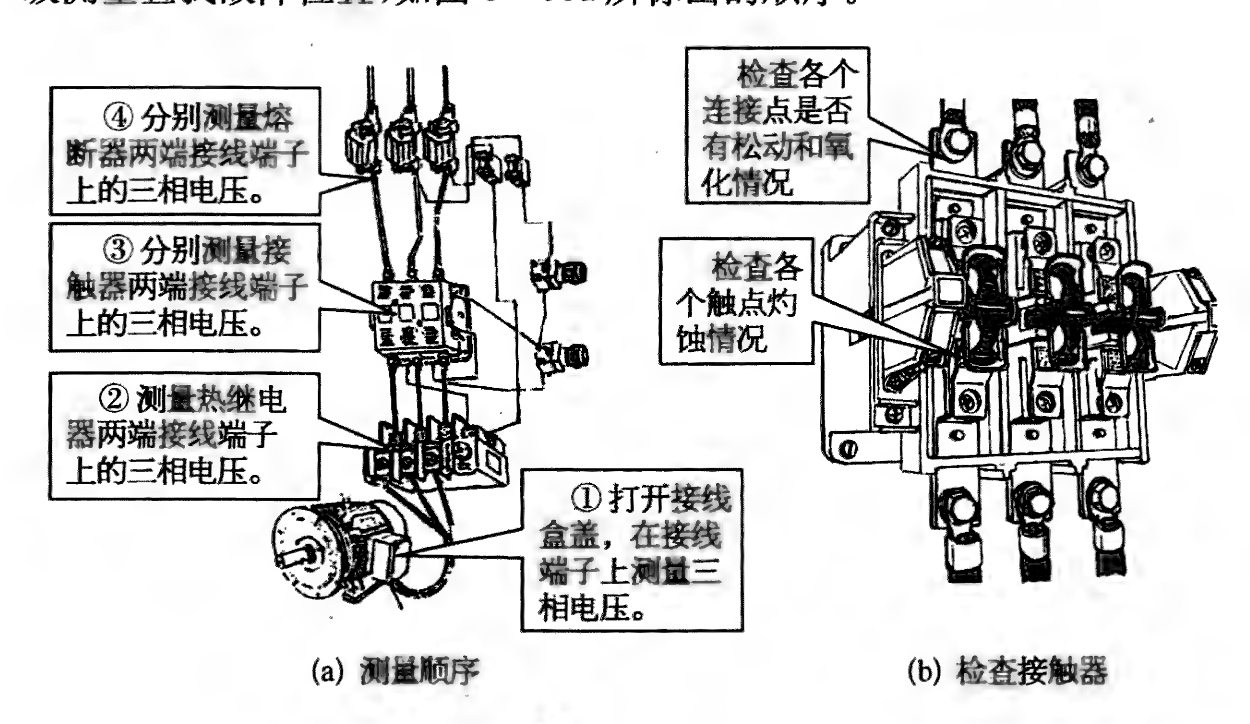
3.3.3 三相电流不平衡度过大

三相电流不平衡度过大，是指空载时超过±10%（电动机行业标准规定）、负载（满载或接近满载）时超过±3%（非国家和行业标准规定，是电机生产企业内部考核标准）。此时三相电压应平衡。

1. 三相电源电压不平衡度过大

三相电源电压不平衡度将直接影响到三相电流的不平衡度。在由国际电工技术委员会（简称为“IEC”）技术资料转化成的国家标准 GB/T 22713—2008《不平衡电压对三相笼型感应电动机性能的影响》中提到：三相电源电压不平衡度对三相电流的不平衡度影响会因电动机的负载状态不同而有区别，额定负载附近时，三相电流的不平衡度略大于三相电压不平衡度；随着负载的减小，影响逐渐增大，当电动机空载运行时，将是三相电压不平衡度的 6～10 倍，例如三相电压不平衡度是 1%，则电动机三相电流空载电流的不平衡度将有可能高达 6%～10%。可见其影响之大。

确定三相电源电压不平衡度的方法是测量三相电源电压。如有可能，首先在电机与电源线连接的位置进行测量（一般在电机接线盒内的接线端子上测量，应事先打开电机接线盒盖）。如测量结果证实确是三相电源电压不平衡度较大，则继续沿着供电线路向配电柜的电源进线方向逐级测量查找故障位置，如图 3-66a 所标出的顺序。



(a) 测量顺序　　(b) 检查接触器

图 3-66　测量电机三相供电电压的顺序

因在带电状态下进行测量，所以应高度注意安全，严格按相关规定进行安全保护，例如穿戴绝缘鞋、配备监护人员等。

接触器的触点被电弧灼蚀后，会造成接触不良，是造成三相电压不平衡的最常见原因。应经常检查，发现灼蚀较严重时尽快修理或更换，否则将形成恶性循环。

2. 绕组有匝间、相间或对地短路故障

在确认电源正常的情况下，考虑绕组是否存在匝间、相间或对地短路故障。

1）用绝缘电阻表检查绕组对地和相间绝缘情况

用绝缘电阻表测量各绕组对机壳和各相之间的绝缘电阻（见 3.2.4）。对 1 000 V 及以下的低压电机，绝缘电阻≥5 MΩ 为完全合格，若不足 5 MΩ，但在 0.5 MΩ 以上，虽然可基本排除是绝缘的问题，但应对该电机绕组进行烘干处理，然后再次进行绝缘电阻的测量，直至达到上述合格标准为止。

2）无绝缘电阻表时，用指示灯或漏电保护开关检查绕组对地绝缘情况（见 3.2.5）。

3）用专用仪器检查匝间绝缘情况

检查匝间绝缘情况最有效的手段是使用本章 3.2.6 项介绍的“匝间仪”。试验方法及判定标准如下：

（1）试验时所加的冲击电压（峰值）按下式计算，结果取到百位数。

$$U_Z=1.4KU_G$$

式中 K——计算系数（见表 3-2）；

U_G——电机成品耐交流电压试验值，$U_G=2U_N+1\,000$（U_N 为被试电机的额定电压，V）。

表 3-2 交流低压散嵌绕组匝间冲击电压试验电压值的计算系数 K

运行情况或要求	K	运行情况或要求	K
一般运行	1.0	剧烈振动、井用潜水、井用潜油、高温运行（H 级以上）、驱动磨头	1.20
浅水潜水	1.05		
湿热环境、化工防腐、高速（>3 600 r/min）运行、一般船用	1.10		
隔爆、增安	1.05～1.20	特殊船用、耐氟制冷	1.30
屏蔽运行 频繁起动或逆转	1.10～1.20	特殊运行	1.40

例如，对一般运行的电机，当 $U_N=380$ V 时，$U_G=2U_N+1\,000=2\times380+1\,000=1\,760$ V，则 $U_Z=1.4\times1\times1\,760$ V$=2\,464$ V，取到百位数后为 2 500 V。

(2) 试验结果(显示波形)的判定。

此种试验方法是根据仪器示波器显示的波形曲线的状态，来判定绕组是正常，还是可能有匝间、相间或对地短路故障。

① 若两个绕组都正常时，两条曲线将完全重合，即在屏幕上只看到一条曲线。如图 3－67a 所示。

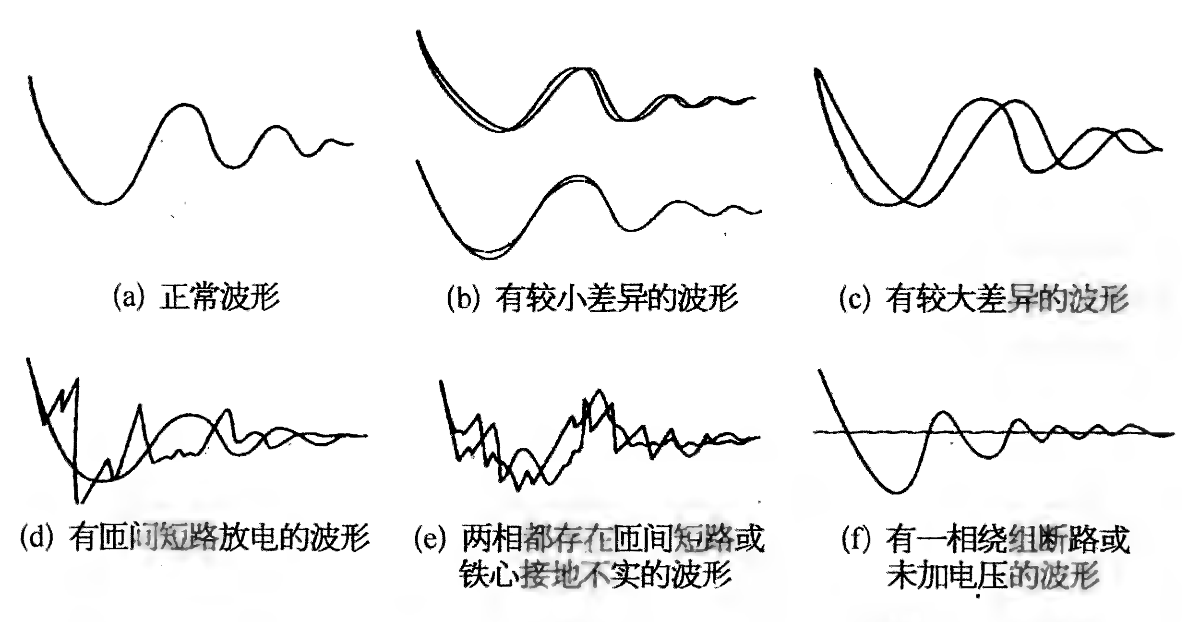


图 3－67　匝间耐电压试验波形曲线典型示例图

② 若两条曲线不完全重合(严格地讲是未达到“基本重合”)，有小量差异，但都很平稳，如图 3－67b 所示，可能是由下述原因造成的：

a. 和总匝数相比而言，有极少量的匝间已完全短路(导体已直接相连，形成电的通路，也称为“金属短路”)，这种故障一般在匝数较多的绕组中出现。

b. 由于原始设计缺陷、加工工具缺陷、所用材料性能参数或生产工艺波动等原因造成的，如定子铁心槽距不均、铁心导磁性能在各个方向不一致、绕组端部整形不规则等。

c. 对于有较多匝数的绕组，其中一相绕组匝数略多或略少于正常值。

d. 对于多股并绕的线圈，在连线时，有的线股没有接上或接点接触电阻较大，此时两个绕组的直流电阻也会有一定差异。

e. 由两个闸流管组成的匝间仪，在使用较长时间后，会因两个闸流管或相关电路元件(如电容器的电容量及泄漏电流值等)参数的变化造成加

载时输出电压有所不同或振荡周期不同，从而使两条曲线产生一个较小的差异，此时，对每次试验（如三相电机的三次试验）都将有相同的反应。但应注意，该反应对容量较大的电机会较大，对容量较小的电机可能不明显。

f. 仪器未调整好，造成未加电压时两条曲线就不重合。

g. 被试绕组与仪器之间的连线某些连接点接触不良，使相关线路直流电阻加大。

③ 两条曲线都很平稳，但差异较大，如图 3－67c 所示。可能是由下述原因造成的：

a. 两个绕组匝数相差较多或其中一个绕组内部相距较远（从线圈匝与匝的排列顺序上来讲较远，例如总计 100 匝的绕组中的第 1 匝和第 80 匝）的两匝或几匝已完全短路，此时两个绕组的直流电阻会有较大差异。

b. 两个绕组匝数相同，但有一个绕组中的个别线圈存在头尾反接现象，此时两个绕组的直流电阻会基本相同，但交流电抗却会相差很多（有线圈头尾反接的绕组交流电抗要比正常的小很多）。

④ 一条曲线平稳并正常，另一条曲线出现杂乱的波形，如图 3－67d 所示。其原因如下：

a. 曲线出现杂乱波形的绕组内部存在似接非接的匝间短路，在高电压的作用下，短路点产生电火花，如发生在绕组端部，则可能看到蓝色的火花，并能听到“吱吱”的放电声。

若将端盖拆下，可借助一段塑料管将较小的放电声音传到耳朵里，寻找短路放电部位，如图 3－68 所示。

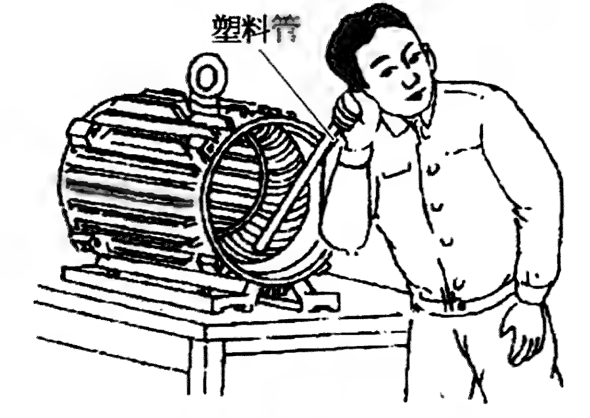


图 3－68 借助塑料管听较小的匝间短路放电声

b. 仪器接线松动或虚接。此时在电机绕组处听不到任何异常声响。

⑤ 两条曲线都出现杂乱的波形，如图 3－67e 所示。原因有如下两个：

a. 被试的两套绕组都存在匝间短路故障。

b. 当铁心采用接地方式放置时，接地点松动不实。

⑥ 只有一条振荡衰减曲线，另一条还是原来的一条直线，如图 3－67f 所示，则是有一相绕组断路或仪器与绕组的引接线断开或一路无输出电

压等原因造成的。

(3) 检查绕组直流电阻的三相平衡情况

使用传统的电阻电桥、数字式电阻测量仪等直流电阻测量设备，测量各相绕组的直流电阻。用双臂电桥测量三相绕组直流电阻的接线方法如图 3－69 所示。

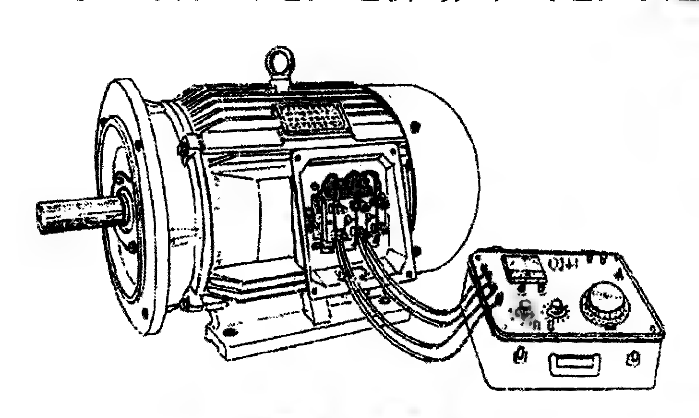


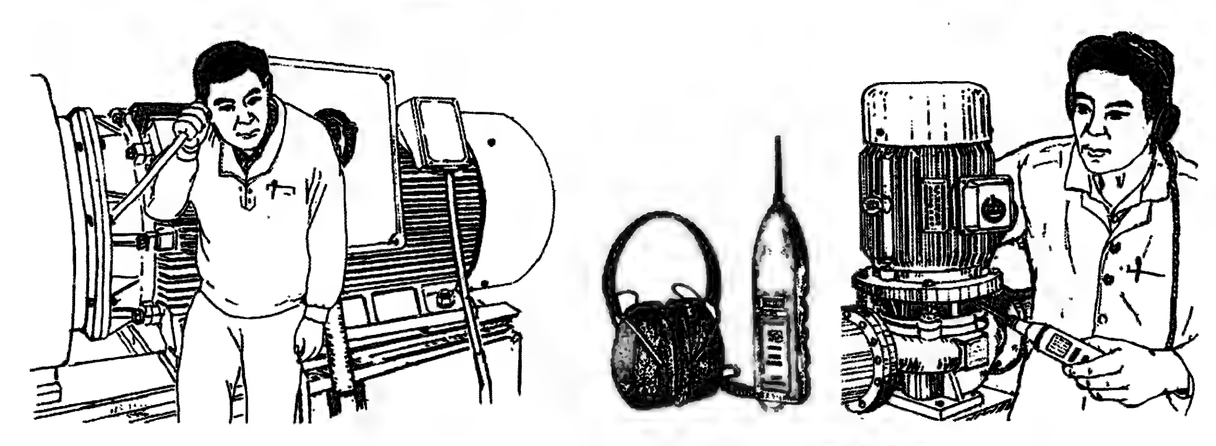
图 3－69　用双臂电桥测量电机绕组的接线

当三相直流电阻三相平衡情况较差时（超过±3%），则应考虑电阻值较小的一相是否有匝间短路故障。

3. 定、转子之间的气隙严重不均匀

相对于定子或转子铁心径向尺寸而言，定、转子之间的气隙是相当小的，但它在整个磁路中的作用却相当大（磁阻远大于整个铁心的磁阻数值），当气隙宽度出现严重不均匀的现象时，将会造成一个圆周上磁路的不均衡，气隙大的部位，磁阻大，从而使三相电流的平衡性变差。

新电机定、转子气隙严重不均匀的原因主要是轴承室与定子铁心的同轴度严重不合格所造成的。使用中的气隙变得严重不均匀的原因，主要是轴承损坏后其径向游隙变大或轴承外圆在轴承室内滑动并将轴承室严重磨损，造成转子与定子铁心的同轴度受到破坏，转子下沉，严重时将出现定、转子铁心之间发生局部摩擦现象（俗称“扫膛”）。此时，轴承温度将会上升，通过监听轴承部位的声音（如图 3－70 所示），可感觉到噪声明显变大，并伴有异常的摩擦声。



(a) 用杆状物听电机运行声音　　(b) 用电子听诊器听电机运行声音

图 3－70　监听轴承损坏和外圈摩擦轴承室的声音

3.3.4 空载电流较大

空载电流多大为不合格？国家和行业都没有规定标准数值。所以说，判定空载电流大的依据只能是同一生产厂提供的同规格一批电机中其他认为正常的绝大部分电机的数值。

附录11给出了国内某知名生产厂多年出厂电机的统计平均值，可供参考。

若经判定，确实较正常值大很多，则可能是下述原因造成的。

(1) 定、转子之间的气隙较大或轴向未对齐(错位)。

(2) 铁心硅钢片质量较差(出厂时为不合格品或用火烧法拆绕组时将铁心烧坏)。

(3) 铁心长度不足或叠压不实造成有效长度不足。

(4) 接线错误，如应三相星接实为三相角接(是正常值的3倍以上)。

(5) 额定频率为60 Hz的电机通入了50 Hz的交流电(所加电压仍为60 Hz的额定数)。此时的空载电流将是正常值的1.2倍以上，最高可达1.7倍左右。

(6) 电源电压高于额定值。在额定电压附近(特别是高于额定电压时)，空载电流与电压的3次(甚至于4次，最高可达到7次)方成正比。例如某电机在额定电压380 V时的空载电流为2 A，当电压高到400 V时，空载电流至少可达到$2\ A\times(400/380)^3=2.33\ A$，最大可高达$2\ A\times(400/380)^7=2.86\ A$。

3.3.5 电机温度较高

温度较高的原因有两个方面，一个是发热部位产生的热量较多，另一个是散热系统没有起到应有的作用。

1. 电流大于额定值

电动机的定子电流是产生热量的主要因素，一方面通过绕组后直接产生与其平方成正比的热量($A=I^2Rt$)，另一方面，是转子输出转矩和自身损耗、铁心损耗、风扇和轴承运转等所有需要能量的来源。所以在很大程度上，电机过热的表现形式是电流大。

电流大的原因有(参见图3-71)：

(1) 负载(包括附加在电动机输出转轴上的所有机械负载)超过了额定值。

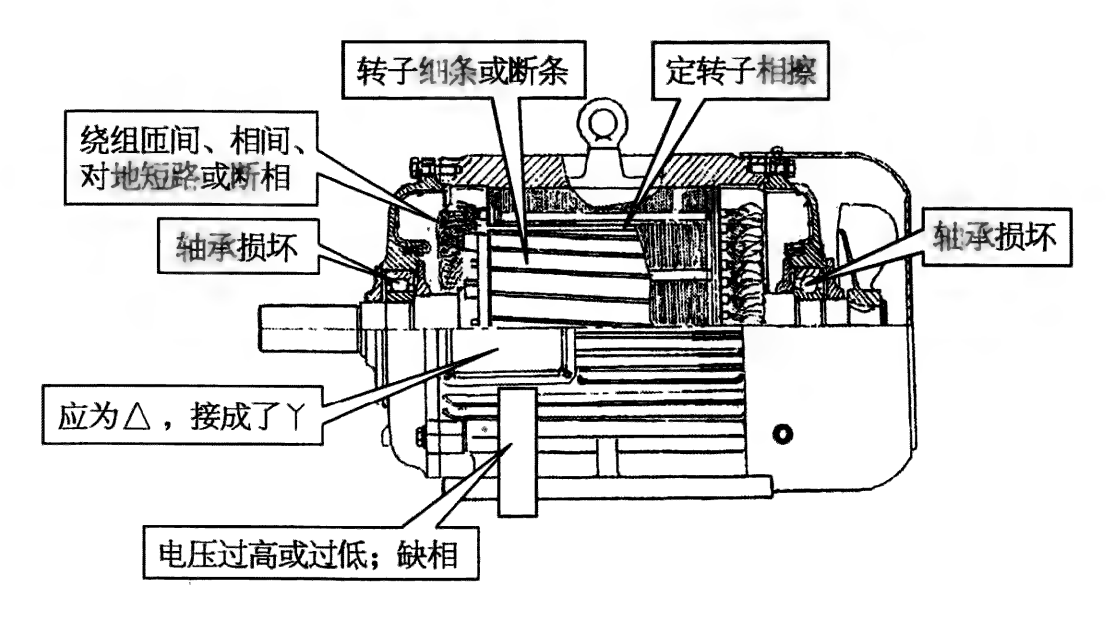


图 3-71 电流大的原因

(2) 电源电压过低，在负载不变的情况下，促使电流增加。

(3) 电源电压过高，对不是恒定值的负载(例如风机和水泵)，电流将随着电压的增大而增大，在很多情况下是与电压的平方成正比增加的。

(4) 轴承损坏，严重时造成定转子相擦，使运转阻力明显加大。

(5) 由各种原因造成的三相电流不平衡，使一相或两相电流明显增大。

(6) 转子细条或断条，使输出转矩不足，转速下降，电流增大。

(7) 接线错误，常见的是将正常三相角接的接成了三相星接，电流增大幅度与负载性质有关，但大都会因输出功率不足而使转速下降很多，造成转子损耗明显增加而过热。

2. 散热不良(参见图 3-72)

(1) 环境温度过高，例如超过了规定的 40℃。据统计数据，环境温度每增高 1℃，电动机温度将增高 0.5℃左右。

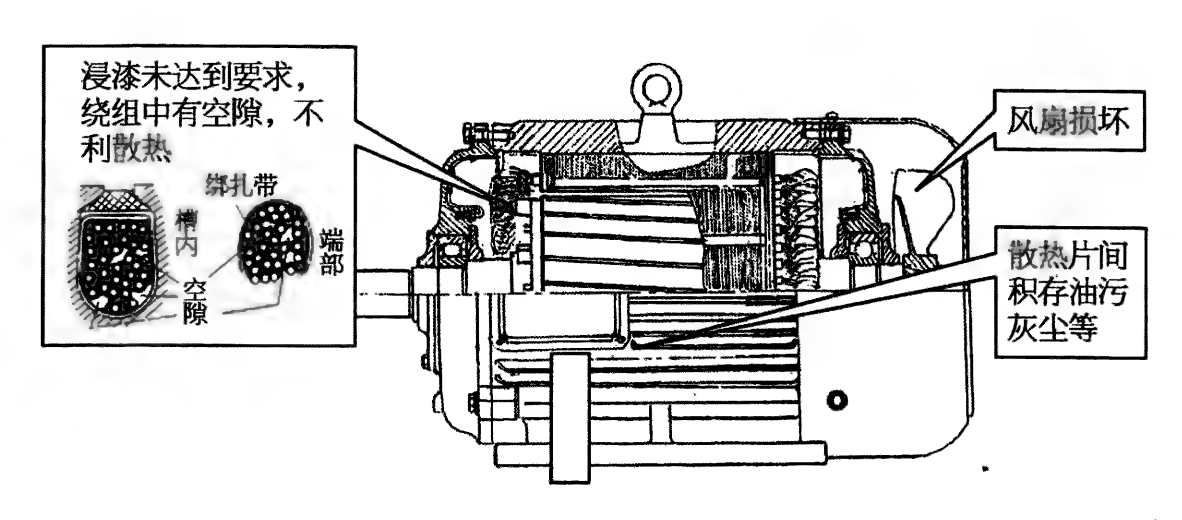


图 3-72 散热不良的原因

(2) 海拔超过了规定的数值,但环境温度不低于规定的海拔地区。这样会因空气稀薄而影响散热。据统计数据,环境海拔每增高 100 m,电机温度将在正常数值的基础上增高 1%左右,例如正常数值为 100℃,在海拔为 2 000 m 的地方运行,则温度会达到 110℃左右。

假设在海拔 1 000 m 以下温度为 100℃,在海拔高于 1 000 m,但环境温度不变的地区,加同样的负载运行时,电动机产生温度的情况如图 3-73 所示。

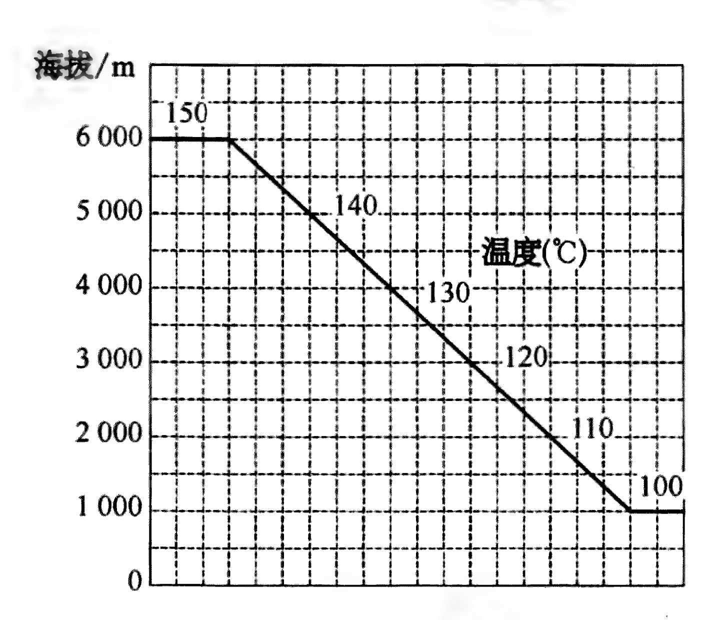


图 3-73 使用环境温度相同前提下,电机运行温度与海拔高度的关系

(3) 冷却系统出现故障,例如风扇损坏、通风道堵塞等。

(4) 机壳表面覆盖了影响散热的油污、灰尘等。

3.3.6 定子绕组严重变色或烧毁

当绕组严重变色或烧毁时,可根据其变色或烧毁的状态来确定故障原因。

1. 全部变色或烧毁

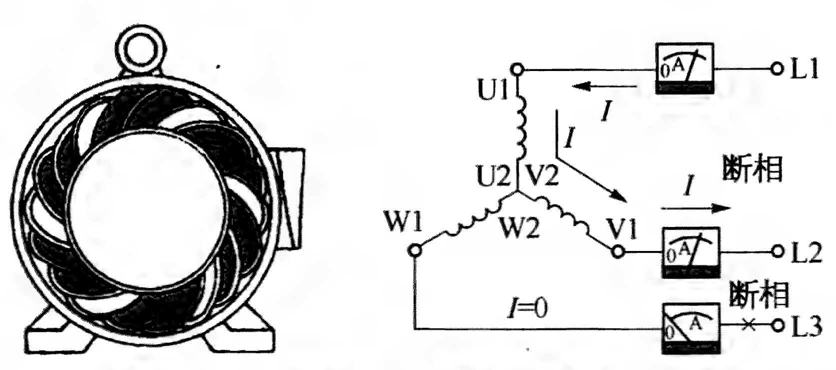
绕组全部变色或烧毁,绝缘和绑扎带等变黄变脆甚至开裂。说明该电机曾长时间过电流运行,过电流常见的原因为过载或低转速运行。

2. 一相或两相全部变色或烧毁

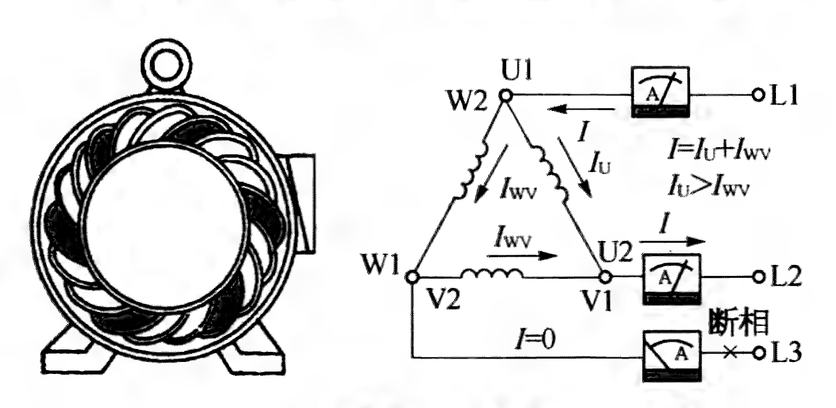
三相绕组中有一相或两相全部变色或烧毁,是由于电源缺相(有一相电源没有供电或供电电压不足额定值的 1/2 时,均可认为是电源缺相)或绕组断相运行造成的。具体对应关系和原因分析见表 3-3 和图 3-74(图中黑色表示变色或烧毁,白色表示正常)。

表 3-3 一相或两相全部变色或烧毁的原因对应表

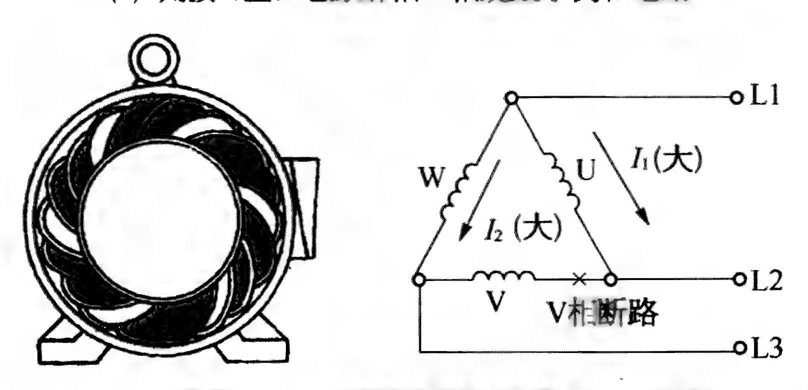
全部变色或烧毁的相数	原因	
	三相Y接	三相△接
一相	—	电源缺相，如图 3-74b 所示
两相	① 电源缺相，如图 3-74a 所示 ② 绕组断相	绕组断相，如图 3-74c 所示



(a) 星接（Y）电源或绕组断相两相烧毁示例和电路



(b) 角接（△）电源断相一相烧毁示例和电路



(c) 角接（△）绕组断相两相烧毁示例和电路

图 3-74 三相绕组中有一相或两相烧毁的状况和原因分析(6 极电机)

3. 绕组部分变色或局部烧毁

如绕组出现局部烧毁现象，如图 3-75a 所示，则说明该处发生了匝间、相间或对地短路(常见在槽口处)。若部分绕组变色，则是已有短路但

还未达到最严重的程度。匝间或对地短路时，各绕组过热部位和绕组内的电流大小状况分析见图 3-75b～图 3-75e。

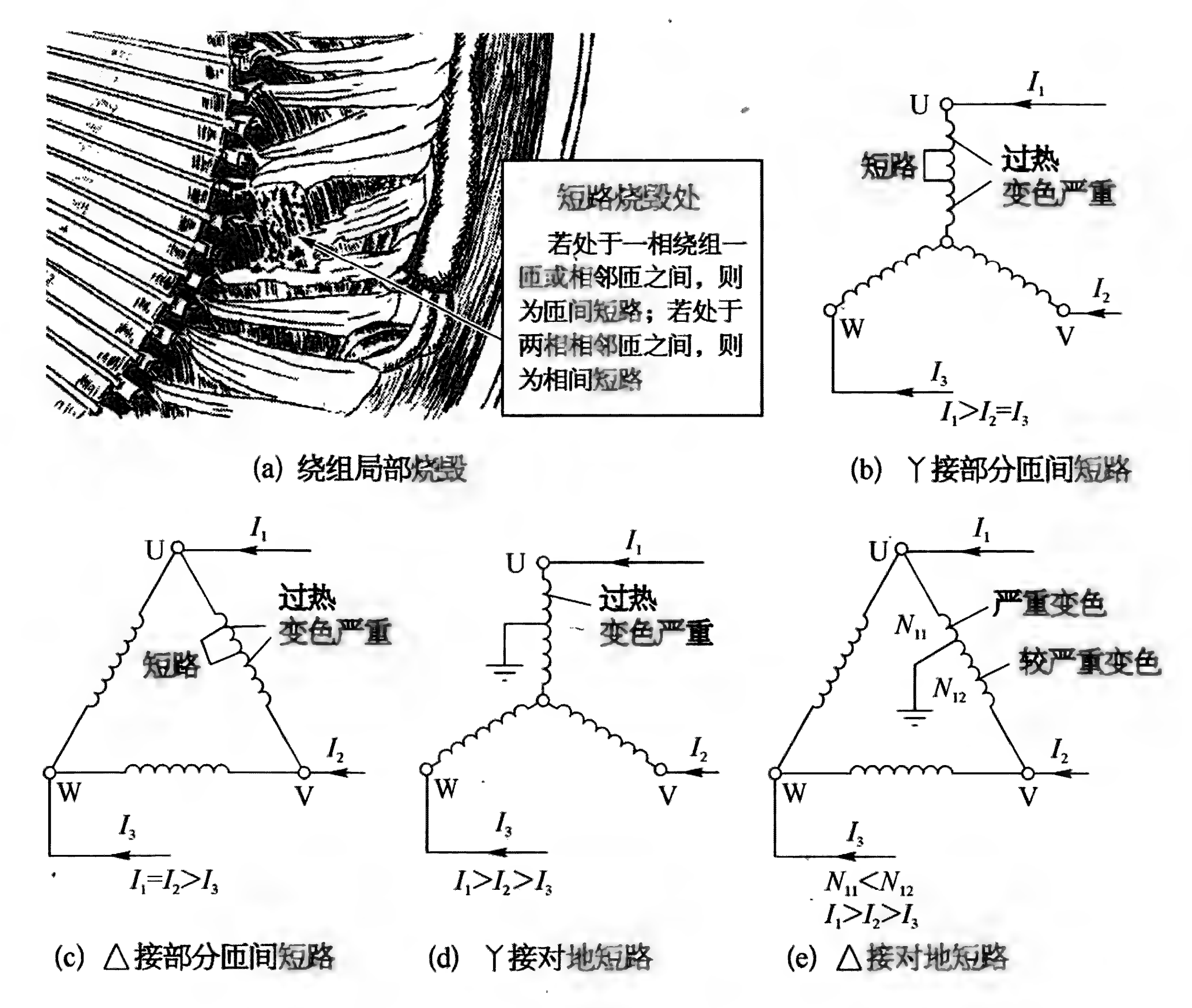


图 3-75 绕组局部变色或烧毁的原因分析

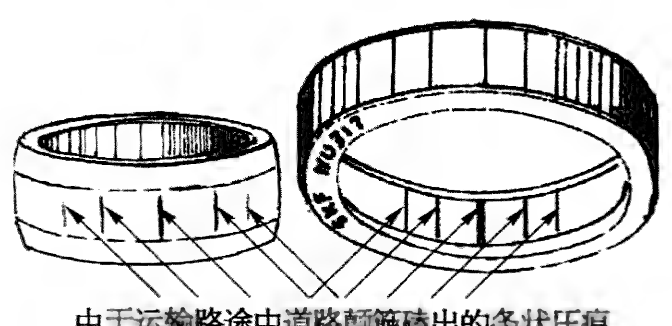
3.3.7 轴承过热

（1）轴承质量较差或在运行前的运输及搬运过程中受到了损伤。图 3-76a所示的 NU 型柱轴承内外环滚道中的轴向中间一条最深的压痕，就是在运输路途中道路颠簸，转子上下跳动带动轴承滚子冲击轴承外圈滚道而造成的。这种损伤，在电机运行时可听到轴承中发出的有节奏的“刚刚”声。

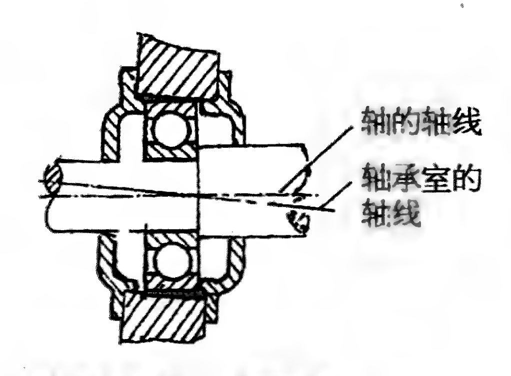
（2）轴承与转轴或轴承室的同轴度不符合要求，如图 3-76b 所示。

（3）本应可轴向活动的一端轴承外圈被轴承盖压死，如图 3-76c 所示。当运行一段时间后，转轴因温度上升而伸长时，带动轴承内圈离开原轴向位置，从而挤压钢珠研磨侧滚道，产生较多的热量。

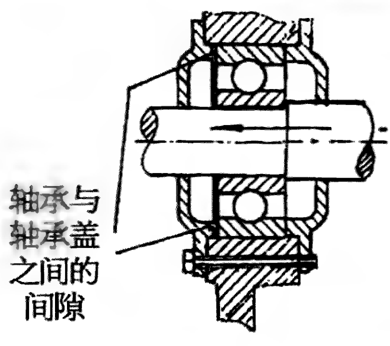
（4）轴承与转轴或轴承室配合过紧，使轴承内圈或外圈挤压变形，径向游隙变小，滚动困难，产生较多的热量，如图 3-76d 所示。



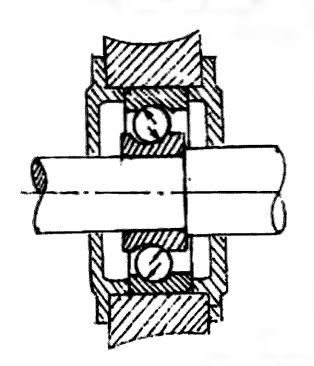
(a) 内外圈滚道磕伤



(b) 轴承与轴承室的同轴度不符合要求

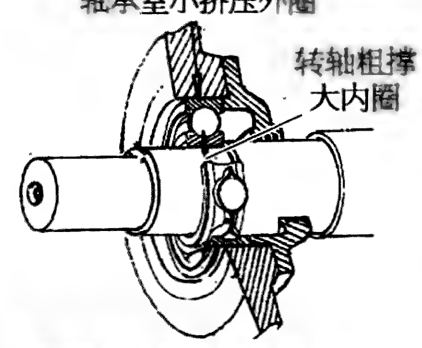


正常安装状态

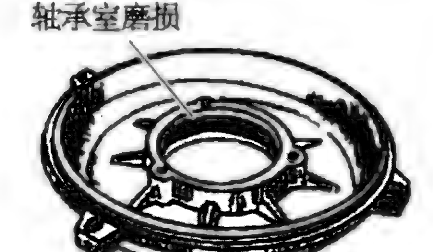


转子受热后产生的轴向膨胀伸长

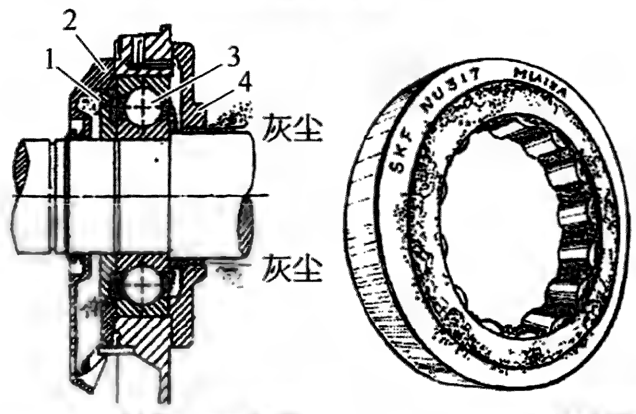
(c) 活动的一端轴承外圈被轴承盖压死造成的轴承运转困难



(d) 轴承与转轴或轴承室配合过紧

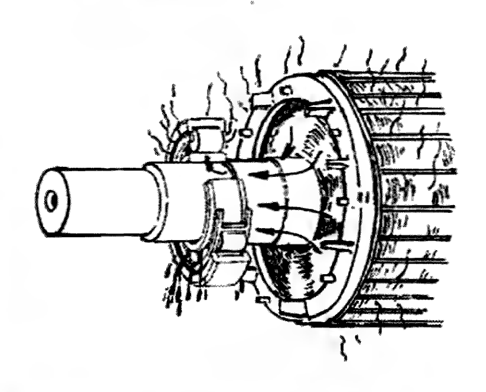


(e) 轴承室磨损



灰尘进入轴承室的途径　进入了很多灰尘的轴承

(f) 粉尘进入到轴承中



(g) 转子的热量传到轴承中，使润滑脂液化流失

图 3-76　轴承温度较高的原因

1—挡油盘；2—轴承外盖；3—轴承；4—轴承内盖

(5) 轴承与转轴或轴承室配合过松，使轴承内圈在转轴上、外圈在轴承室内快速滑动（内圈滑动是绝对不允许的，外圈有很缓慢的滑动在很多情况下是无害的），如图 3-76e 所示。这种摩擦将产生大量的热量，会造成温度急剧上升，严重时会在很短的时间内将轴承损坏，并进而产生定转子相擦，绕组过电流烧毁等重大事故。

(6) 环境中的粉尘通过轴承盖与转轴之间的间隙进入到轴承中，大幅度地降低油脂的润滑功能，增加摩擦阻力，产生较多的热量，如图 3-76f 所示。

(7) 因各种原因造成的转子过热，转子的热量传到轴承中，使轴承中的润滑脂温度达到其滴点而变成液态而流失，轴承失去润滑而产生较高的热量，如图 3-76g 所示。

(8) 润滑脂过多、过少或变质。对附带挡油盘的轴承室结构（见图 3-77），若不及时补充油脂，就会逐渐出现润滑脂减少的现象。另外，在低温下使用耐高温的润滑脂，会因其黏度较大而产生相对较多的热量。

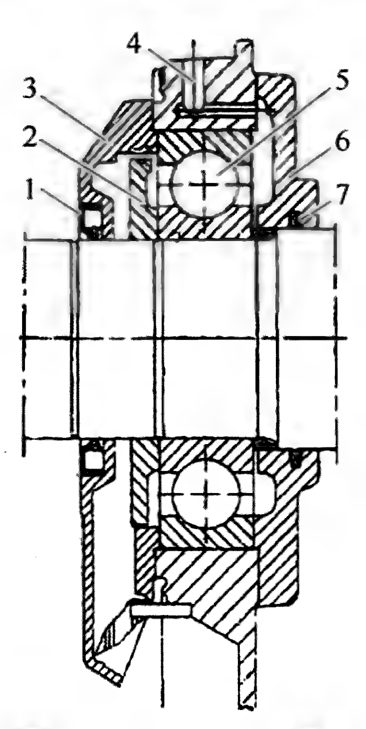


图 3-77 带有挡油盘的轴承室结构图

1—骨架密封；2—挡油盘；3—轴承外盖；4—注油孔；5—轴承；6—轴承内盖；7—密封油毡

3.3.8 振动和噪声过大

三相异步电动机振动和噪声较大的原因较多，就电动机本身而言，有（参见图 3-78）：

(1) 三相电源电压不平衡度较大。可通过测量三相电源电压数值来确定。

(2) 定子绕组有严重的匝间短路故障。三相电流也将严重不平衡。

(3) 轴承质量不符合要求，或轴承装配存在问题，造成轴承与轴承室同轴度不符合要求。通过听轴承运转的声音来确定。

(4) 电机整体机械结构的固有振动频率刚好与通电运转产生的振动频率相吻合，致使产生整机运行时的共振。这一问题在使用变频器供电时，有时会在某一频率段产生。

(5) 转子铁心与轴脱离，此时将发出较大的异响，同时转速很低。

(6) 转子导条有断条现象，用指针电流表测量电流，电流表的指针按一定频率来回摆动。

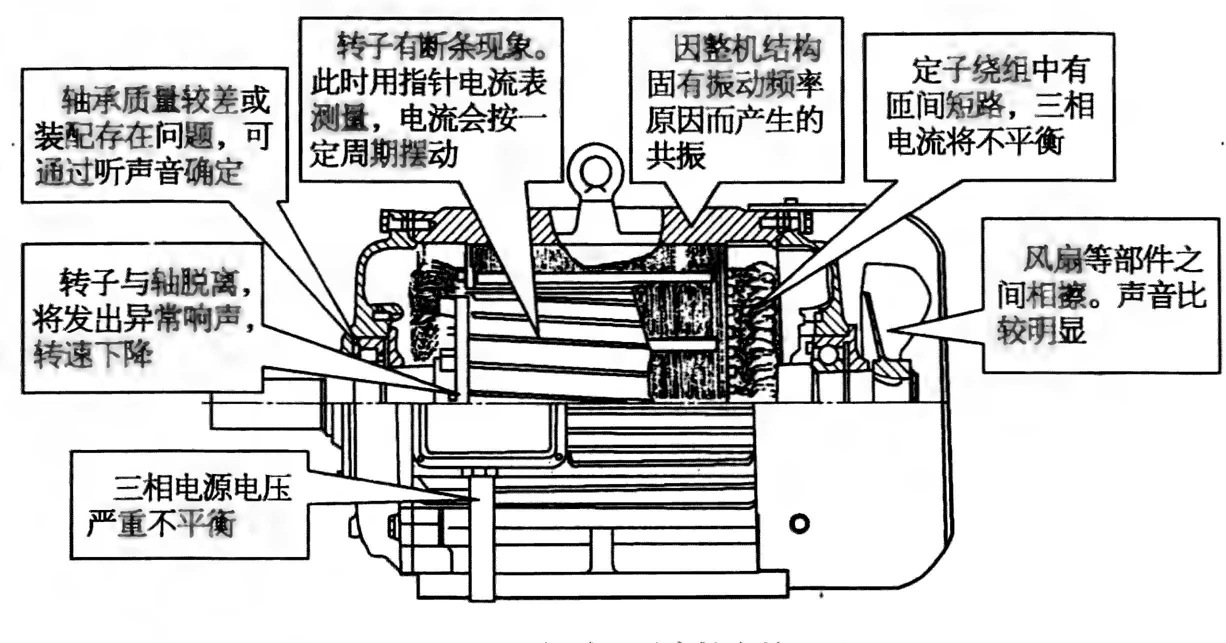


图 3-78 振动和噪声较大的原因

(7) 风扇或其他运转部件安装不符合要求或配合松动等原因，与固定部件(如端盖或风扇罩)相擦。通过听声音或停机检查来确定。

3.3.9 加载运行时电流表指针不停地按一定周期摆动

当电机加负载运行时，若其电流较正常时大并周期摆动时(摆动频率接近于转速差，即同步转速与实际转速之差。摆动的幅度与负载的轻重有关，负载重则摆动幅度大)，如图 3-79 所示，可初步确定是转子断条。电机在负载较重(但未超过额定值)时，会出现转速下降、电流增加，温度升高、径向振动变大、发出按一定周期起伏的“嗡嗡”声等异常现象。

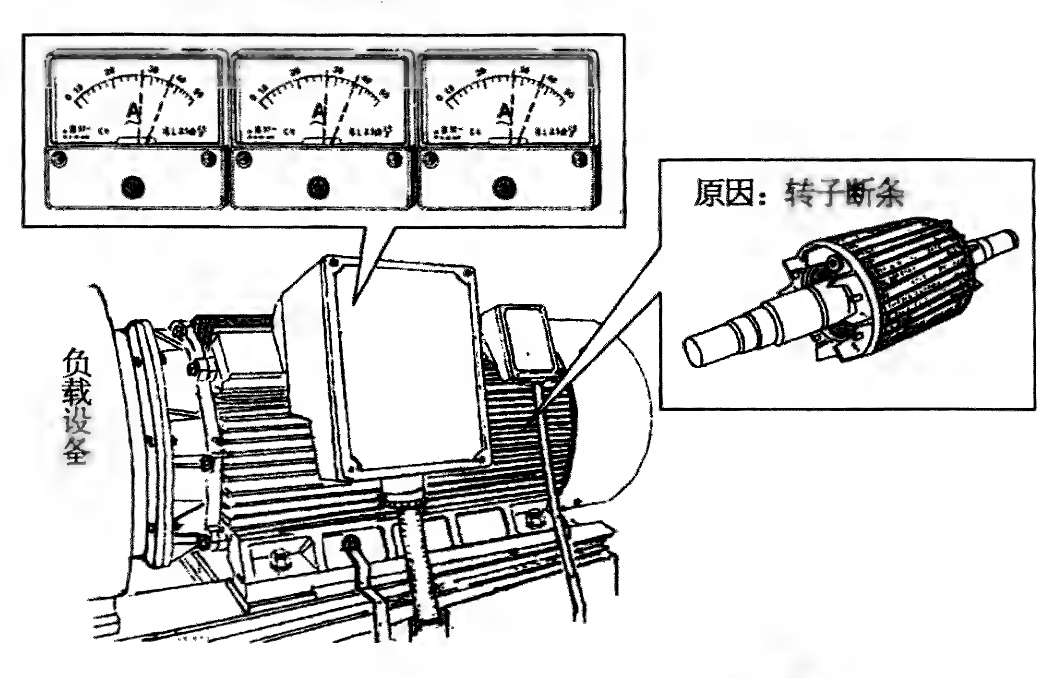


图 3-79 加载运行时电流表指针按一定周期摆动

3.3.10 转子断条的判定方法

1. 利用感应发电法判定

通过调压器或变压器等给电机一相绕组通入较低电压的单相交流电，使该相电流在额定值的20%左右(用一只串联在电路中的电流表观察输入电流)。用手慢慢旋动转子一周，观察电流的变化情况。若在某点电流有较大摆动，则可初步判定转子有断条。被称为“感应发电法”，如图3－80所示。

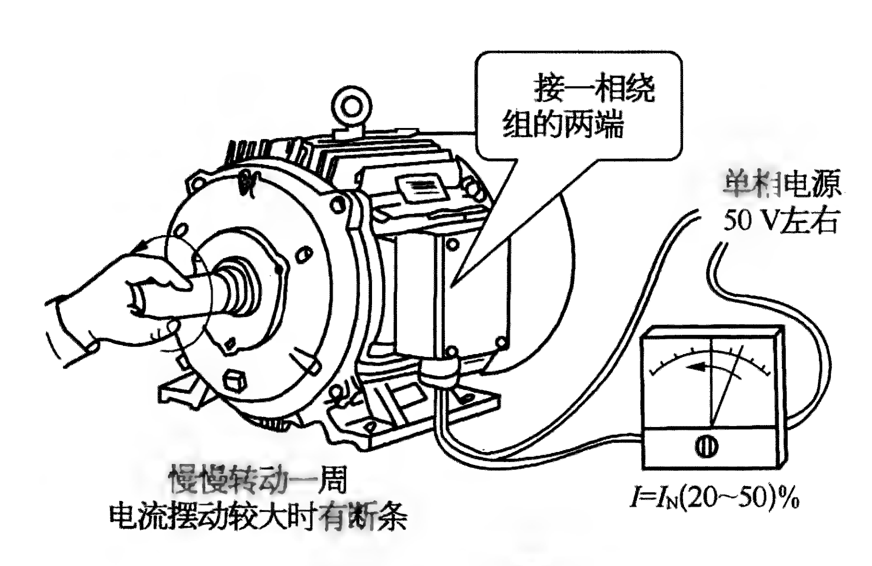


图3－80 用定子绕组通电法确定转子有无断条

2. 直接观察转子

将转子拆出，观察其外表面，若能看到导条局部有变色甚至于有空洞，则可判定是断条的部位，并且此处原来是细条，如图3－81所示。在运行后的电流作用下逐渐氧化到熔化形成的断条。

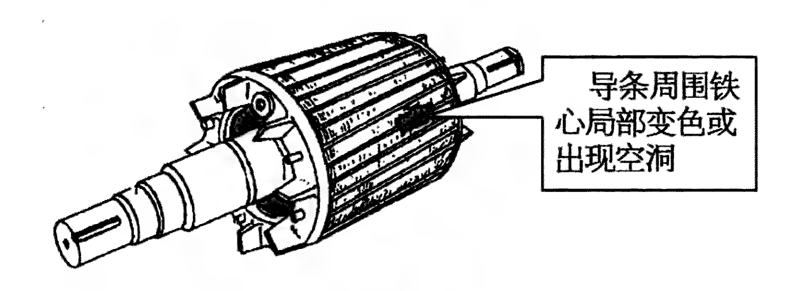


图3－81 直接观察法确定转子有无断条

3. 给转子通电法

若看不到明显的迹象，则需要使用被称为“断条侦察器”的专用仪器(详见3.2.7第2项和图3－23)进行查找。

也可以通过变压器给转子导条通低于5 V的交流电。在转子表面撒铁粉或逐条放一段钢锯条，不吸铁粉或吸得很少的导条，或不吸钢锯条的

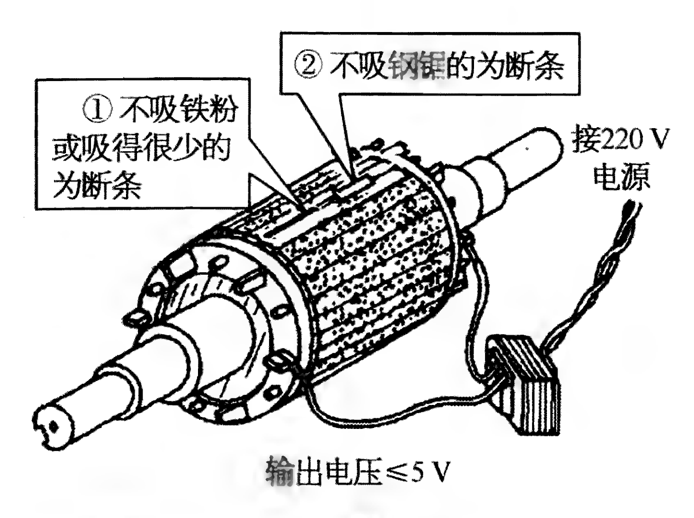


图 3-82 用通电法确定转子有无断条

导条为断条,如图 3-82 所示。

3.3.11 起动转矩小的解决方法

对于与要求的起动转矩值相差较小的情况,可通过下述方法使起动转矩有所提高。

1. 在转子端环处车沟

将转子拆出,用车床在两端的端环处各车一个沟,如图 3-83 所示。要控制宽度和深度,避免对端环的机械强度破坏到可能在运转时断裂的程度。一般情况下,宽度为 5 mm 以内(根据端环的厚度大小来决定),深度不超过端环径向宽度的 1/3,应位于端环轴向的中线位置。这样会使转子绕组的电阻增大一些,起动转矩就会有所增加。其理论根据是起动转矩与转子绕组的电阻成正比关系,当采用上述措施后,转子绕组的电阻将有所加大,从而使起动转矩加大。但转子绕组损耗也会随之有所增加,从而使温升略有增高、效率有所降低。

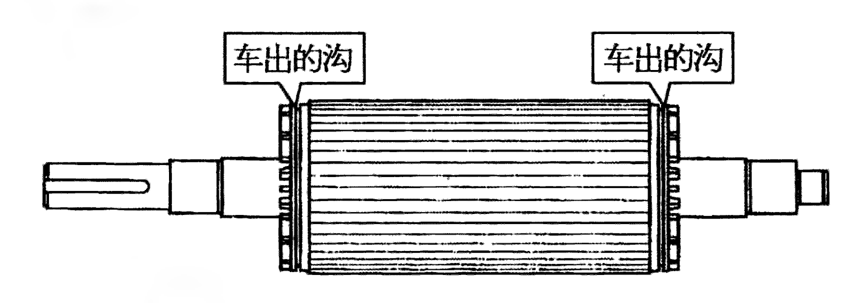


图 3-83 在转子端环上车一定深度的沟

2. 加宽转子槽口

用铣床或其他工具将槽口扩宽一些,能提高起动转矩。本方法对温升和效率几乎无影响。

3.3.12 确定电机极数的简单方法

若铭牌丢失,无法确定该电机的极数(转速)时,可用下面讲述的方法很快确定出来。

将电机三相头尾都打开或接成Y形。使用中心为 0 位的直流毫安(mA)表或将万用表置于直流电压或电流最小档(DC-V 或 DC-mA)。

两表笔分别接一相的头、尾端，如图 3－84 所示。实际上，三相接成三角形也是可以的，此时两表笔分别接一个端点，就像测量线电压那样。

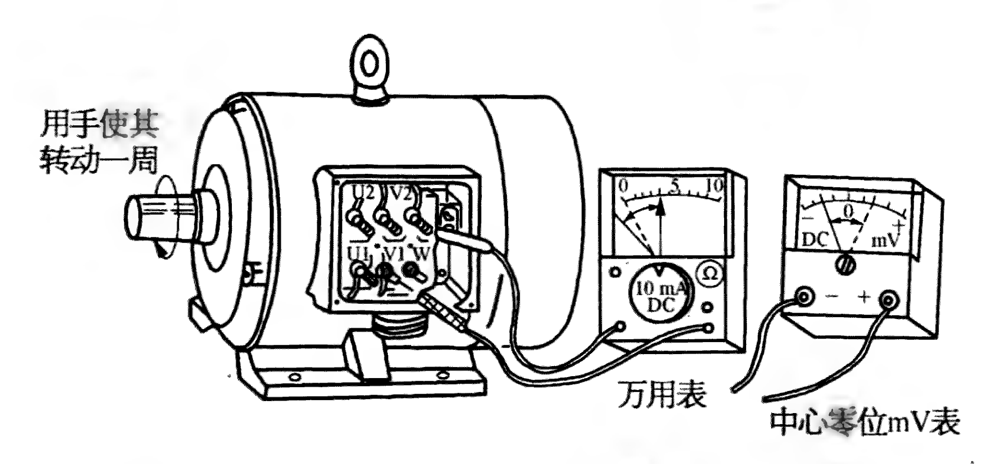


图 3－84 用万用表或直流毫安表确定电机的极数

用手缓慢、匀速地旋转电机转子一周。观测记录表针左右摆动的次数。摆动 1 次是指表针从 0 到正再回到 0，或从 0 摆到负再回到 0。

表针摆动次数即电机的极数。

在上述试验中，若表针不摆动或转子转动同样的角度时摆动次数或幅度不同，则说明该电机绕组有断线、接线错误等故障。

3.3.13 确定三相绕组每相头尾的方法

当由于某些原因，电机三相绕组的 6 条引出线分不清相次和头（首）尾（末）时，可借助万用表或指示灯用下述方法进行确定。

需要说明的是：电机三相绕组的头（首）、尾（末）是相对而言的，或者说当你确定一端为头（首）端，另一端就是尾（末）端。

1. 确定相次

用万用表电阻×1 Ω挡，两表笔分别接触 6 根引线中的两根。通，并有一定的阻值者（对于较大电机阻值可能不足 1 Ω，此时指针几乎在 0 Ω 处）为一相的头尾。如图 3－85 所示。

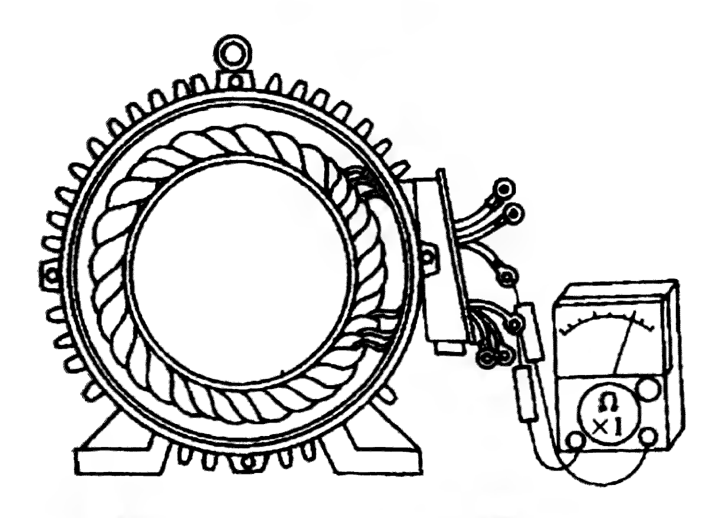


图 3－85 用万用表电阻挡确定相次

2. 用并联发电法

使用本方法必须是组装好的整机。因不用电源和开关，所以比较简单易行。

假设三相绕组的头、尾后，将 3 个假设的“头”相连，三个假设的“尾”相连，形成三相并联，所以也被称为“并联法”。万用表拨到直流毫安(DC - mA)或毫伏(DC - mV)档，表笔分别接上述引出线假定的头和尾公共点，如图 3 - 86a 所示(电路原理如图 3 - 86b 右图所示)。用手盘动电机轴伸，使转子转动。若万用表指针基本无指示，则说明假设正确；若有较大指示并来回摆动，则说明三相中有一相与假设不符，调换一相头尾后再进行检查，至万用表指针不再有较大指示和摆动为止。

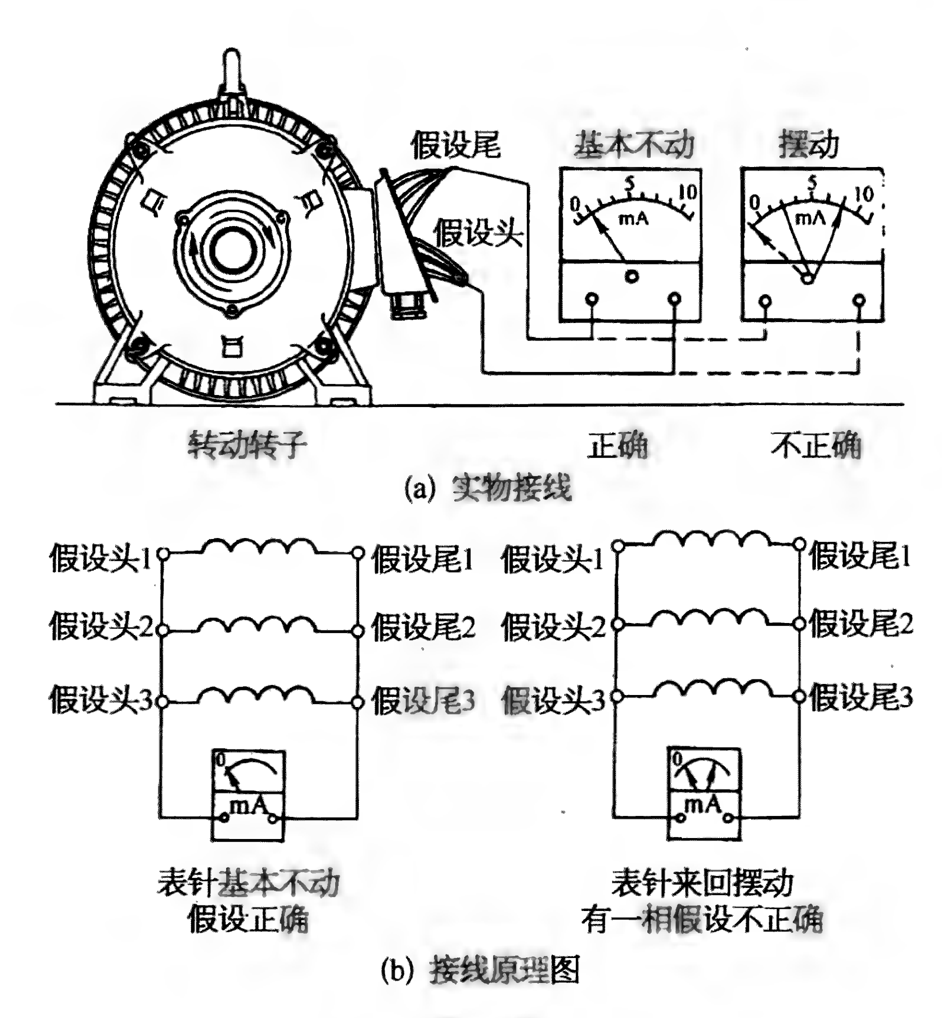


图 3 - 86 发电法(并联法)确定三相绕组的头尾端

实际应用中，如无万用表，可用额定电压为 2.5 V 的灯泡代替万用表，表现形式是：灯亮等于有电压，灯不亮等于无电压。此时转子的转速可能要快一些。

3. 用串联感应法

用 4 节 1.5 V 一号电池串联(也可用 36 V 以下交流电源或 24 V 以下的直流电瓶)，通过一只开关(或用人工控制)接于一相绕组两端。剩余两相绕组串联后连接万用表，由于两相绕组串联的顺序不同，又形成同端串联法和异端串联法两种操作方法。实际接线和原理如图 3 - 87 所示。

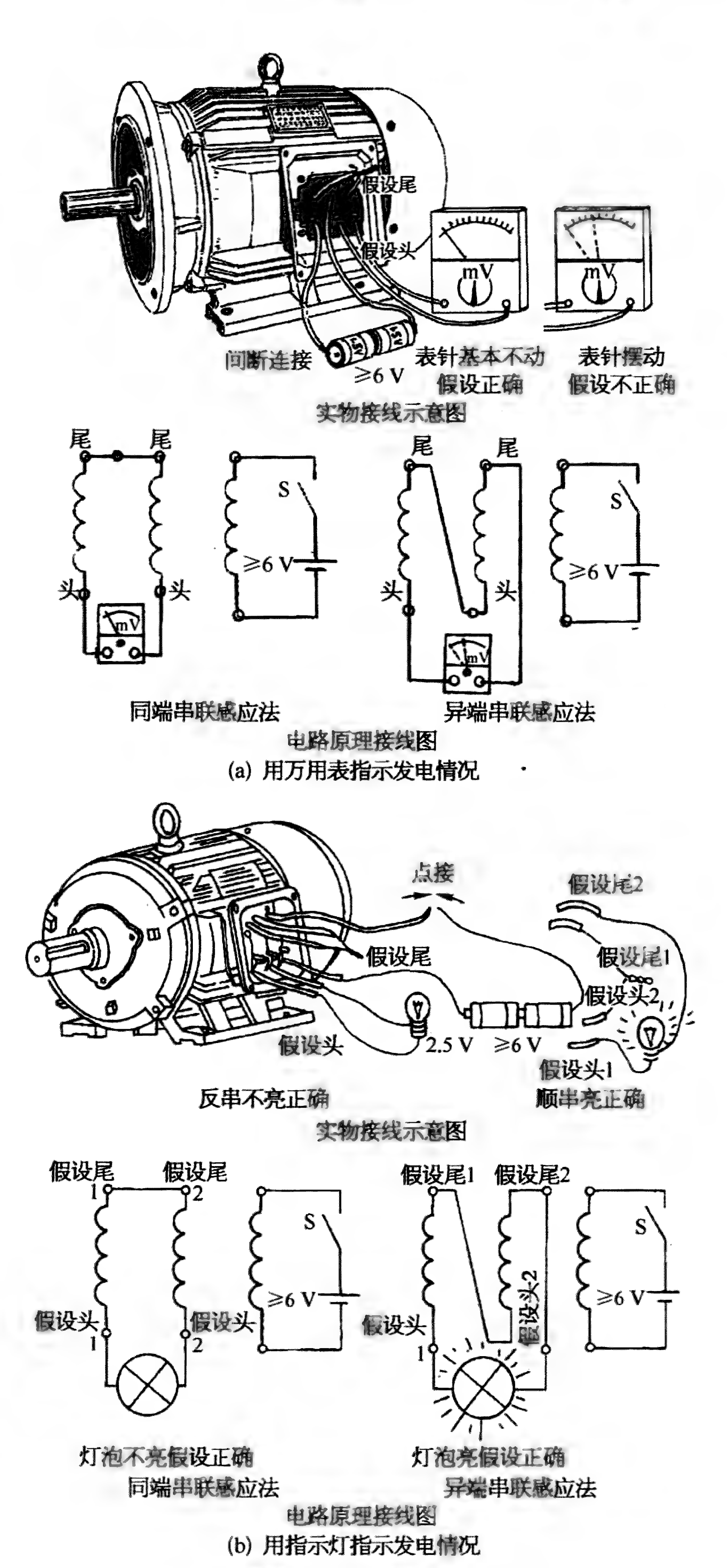


图 3-87 用串联感应发电法确定三相绕组的头和尾

1）同端串联法

先假设剩余两相的头尾，然后将这两相假设的尾相连（“同端串联法”名称的来历），两个假设头接一只万用表的两个表笔。万用表设置到交流电压适当档次（交流或直流电压均可，所选电压量程应不低于所用电源电压的 2 倍）。间断地合、断电池电源开关（或用手控制点接电池的一端）。若仪表无电压指示或摆动极小，则说明假设的头、尾正确；若仪表指示一定的电压值（表针来回摆动），则说明有一相头尾假设错误，反过来即可（再核实一下，表针基本不动则说明改对了）。之后，将电池换接另一相绕组，进一步确定另外两相的头尾。

2）异端串联法

与电池相连的接线与上述方法相同。将剩余两相假设的一相头和另一相尾连接（“异端串联法”名称的来历），剩下的一个头和一个尾分别与万用表的一个表笔相接。用同样的方法合断电源。表针摆动，假设正确；表针不摆动，假设错误。以下的操作同“同端串联法”。

3）指示灯法

若没有万用表或电压表，可用额定电压为 4.5 V 的指示灯作为发电指示元件，接线原理如图 3－87b 所示。灯亮等于有电压，灯不亮等于无电压。

3.3.14 因星-三角降压起动线路的接线故障造成跳闸或电机不起动

1. Y 接时电机起动正常，当转换成△接后断路器很快跳闸

首先说，因为 Y 接时起动正常，所以基本可以排除该电动机绕组本身和转子、轴承等存在质量问题。

当转换成△接时，断路器马上跳闸，说明线路电流过大，超出了断路器设定的瞬时保护电流值。线路电流过大可能有如下三种原因造成：

1）绕组尾端对机壳短路

具体地说，应该是 Y 接起动时，封在一起的三个绕组端头（是一段线，包括引出线和与引出线相连接的绕组一小部分），至少有一个已对地短路。在 Y 接起动时，该端电位与大地的电位相等，所以不会使线路电流增大，电机能正常起动和运行。而转换成△接后，对地短路的一端直接与相线连接，立刻形成了相线对地短路，产生较大的短路电流。

通过测量绕组对机壳（地）的绝缘电阻，可确定是否存在此故障。

2）Y 接起动时，封在一起的三个绕组端头中有两个交叉接错

如果 Y 接起动时，封在一起的三个绕组端头中有两个交叉接错，Y 接

起动时电机表现正常，但在接成△接时，将有一相的头尾两端连接在一相电源上，造成该相没有电流流通，而另外两相将形成并联的电路与剩余两相电源相连并且通电。例如若 W 相和 V 相的标记相互标错，则 W 相绕组将没有电流流通，而 U 相和 V 相将形成并联的电路与剩余两相电源相连并且通电。这样，就形成了变相的电源“缺相”运行状态。通电的两相的线路电流将远超过正常状态时的数值，使断路器动作跳开。

将与电机出线端子相连的电源线和连接片全部拆下用万用表和其他器具核实原标注的端子标记是否正确。若不正确，则可确定是上述原因，否则应是下述原因。

3）与丫接起动时封在一起的三个绕组端头相连接的电源线中有两条相互接错

造成的现象和结果与前面讲述的第 2 条完全相同。如图 3－88b 所示。

用万用表电阻挡或灯泡、电铃等指示器，认真查找用于△接运行的接触器上下端连线，找出相互交叉接错的两条线，倒换后即可。

2. 丫接时电机起动正常，转换成△接时电机停转

转换成△接时电机停转，说明△接时电机绕组没有电流流过。此种故障是与丫接起动时封在一起的三个绕组端头相连接的三条电源线都相互接错，如图 3－88c 所示。此时，三相绕组的头尾均各自连接在一相电源上，所以都不通电，自然也就不可能运转了。

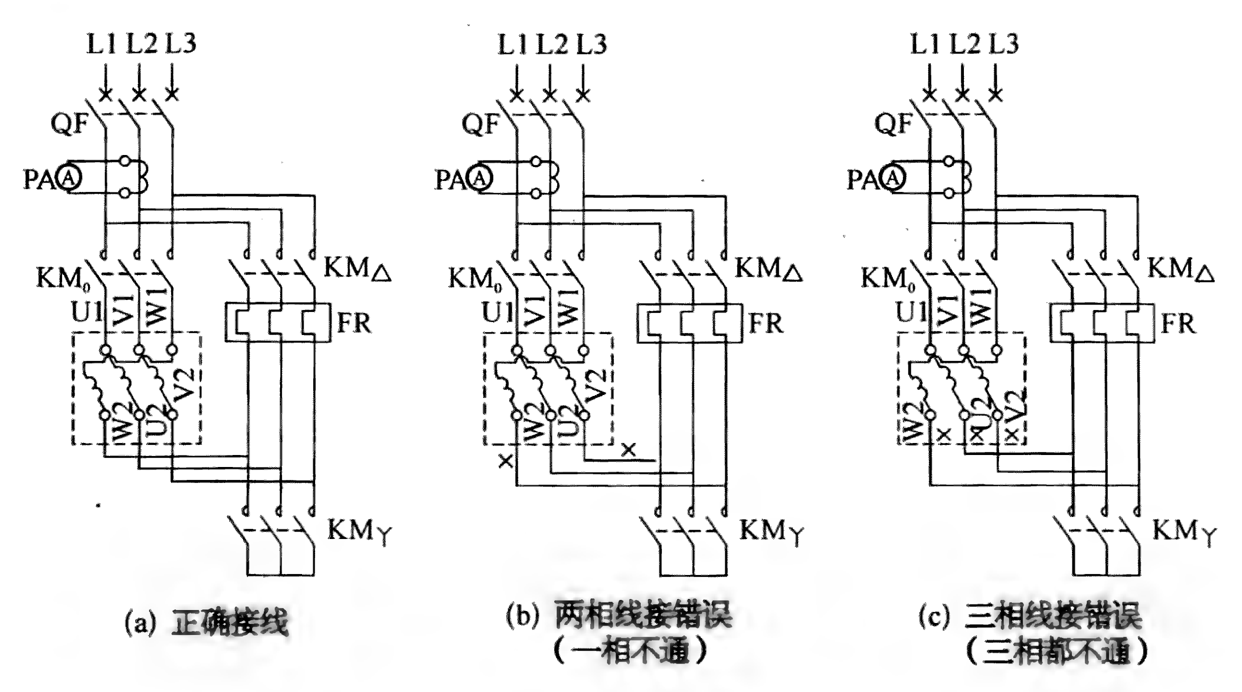


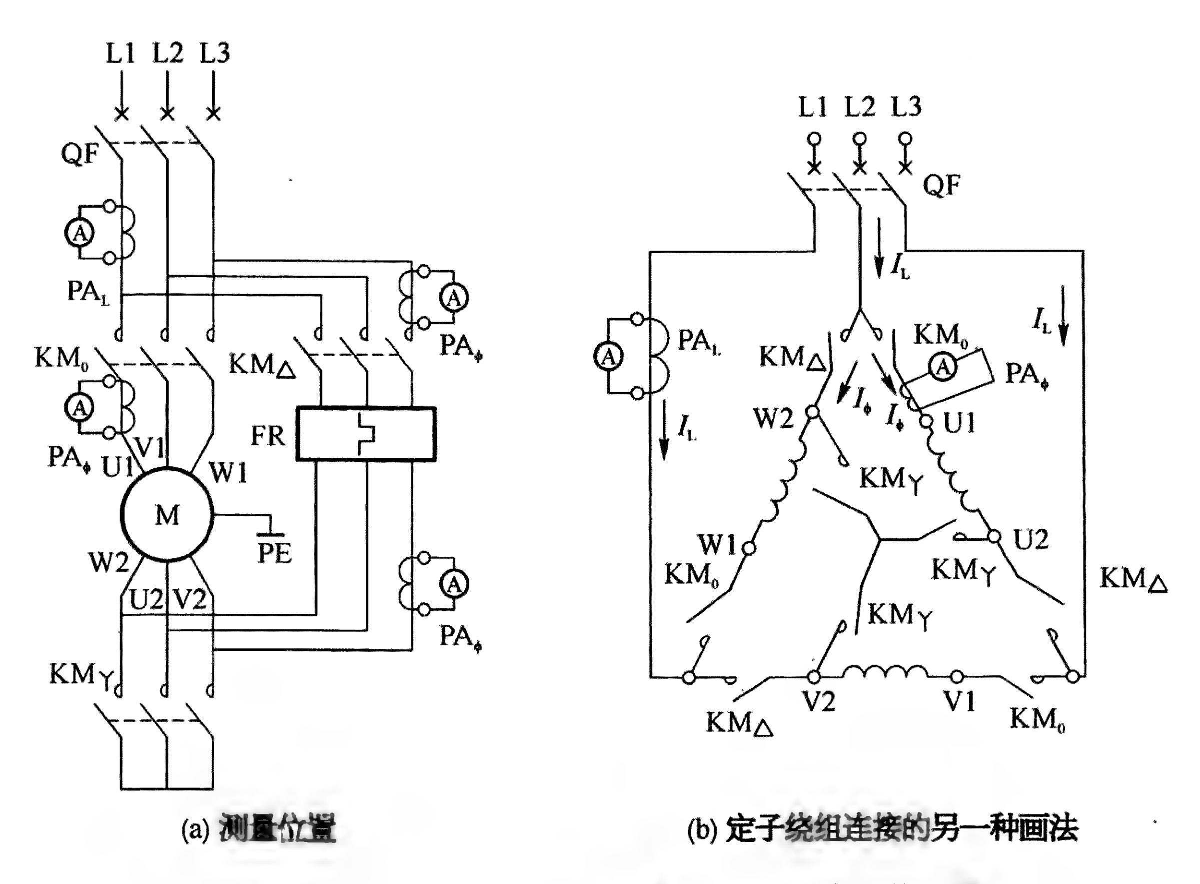
图 3－88 丫-△起动电路的正确和错误接线图

发生这种极端的错误时，用电压表测量电动机接线端子之间的电压，每两相之间的电压为正常值，例如 380 V，但一相绕组两端之间无电压，测量每一相的电流时，也都为零。

3.3.15 星-三角起动电路中电流的测量问题

1. 测量线电流

若要得到线电流，则应将电流表(或电流互感器)串联在电源到接触器 KM_0 上端之间的连线处，如图 3-89a 中的 PA_L 所接位置(若使用钳形电流表，则将其钳口卡在这一段线路上)。



(a) 测量位置　　(b) 定子绕组连接的另一种画法

图 3-89　星-三角转换电路测量线电流及相电流的位置

2. 测量相电流

若将电流表接在 KM_0 或 $KM_\triangle$ 的下端到电机端子之间的连线处，如图 3-89a 中的 PA_ϕ 所接位置，测得的电流将是相电流，此时将其扩大$\sqrt{3}$倍才是线电流的数值。对于 KM_0 与 $KM_\triangle$ 的上端并联的线路，在并联后到接触器端子之间的连线处测量，与在下端测量相同。这一点在实际测量中应给予高度的注意，否则，若测量的是相电流，在严重过载的情况下，还以为电流没有达到额定值，直到电机过热烧毁还不知其所以然。

将图 3-89a 的线路改变一下画法，成为图 3-89b 所示的电路，会对

上述讲述更易理解。

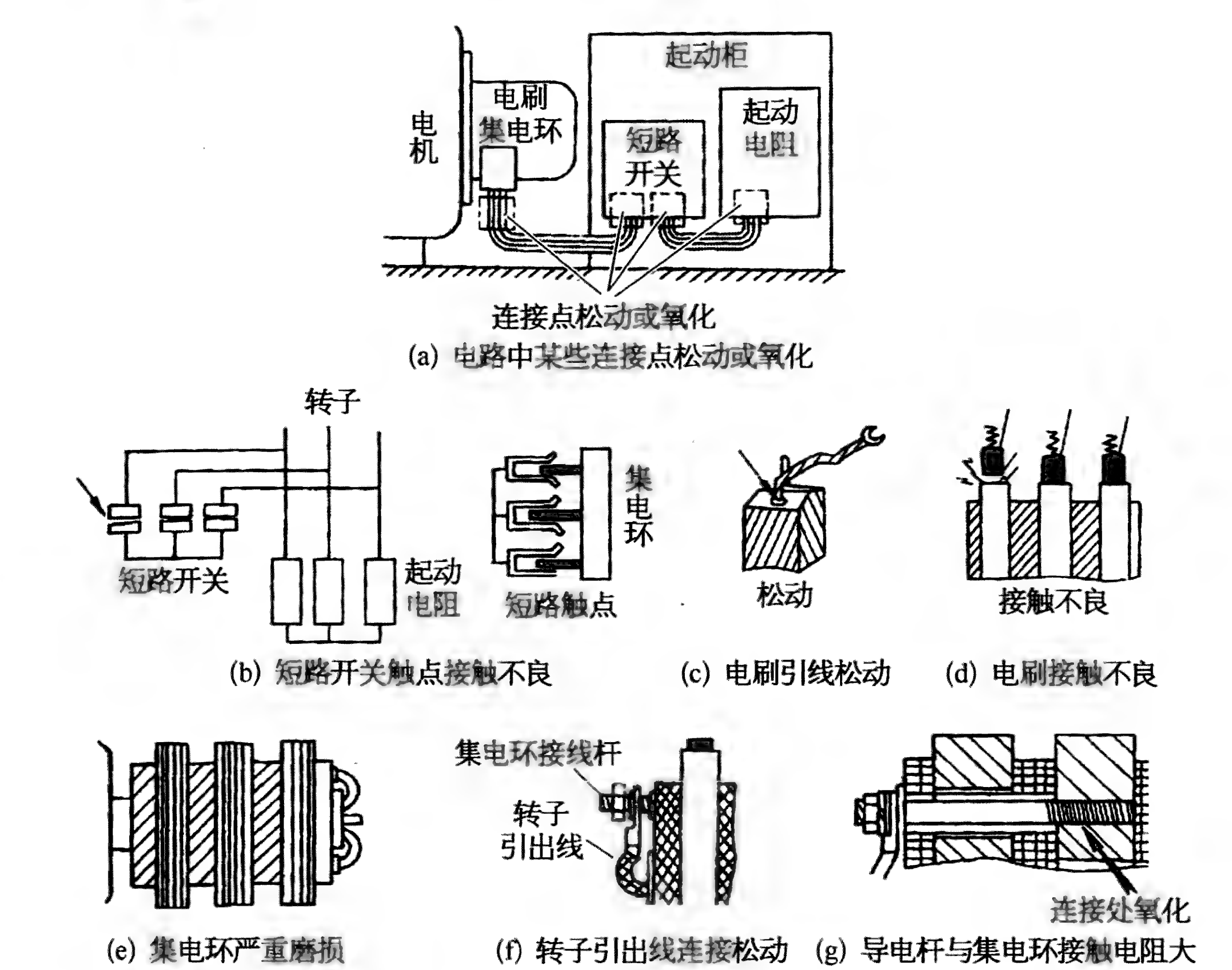
3.4 绕线转子三相异步电动机的特有故障及原因

3.4.1 电流过大但出力不足

其原因分定子、转子以及定、转与电源和转子外接电路接线等几个方面。定子方面的原因与笼型转子电动机完全相同。下面仅介绍转子以及相关连线方面的内容。

(1) 转子绕组或电路出现三相不平衡，其故障如图 3－90a～m 所示。

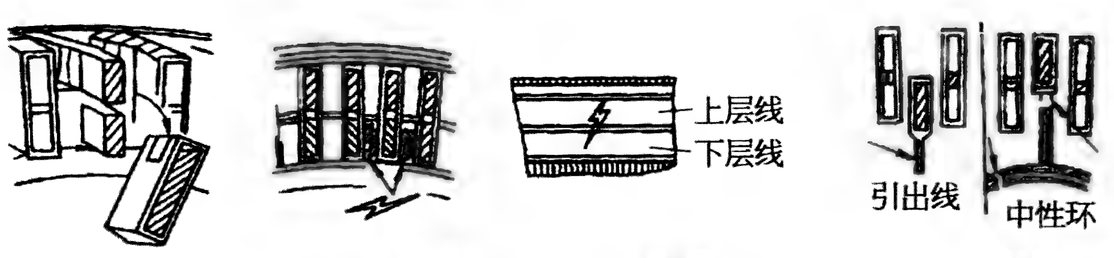
(2) 定、转子外接线交叉接错。当所用电机转子开路电压高于定子额定电压时，若定、转子外接线交叉接错，即转子接了三相交流电源，而定子接了起动电阻时，就会因定子绕组和转子绕组都达不到额定电压而不能输出额定功率，在负载一定时，转速会下降，电流上升。这种错误通常发生在通过电缆沟或电线管走线的施工过程中，如图 3－90n 所示。



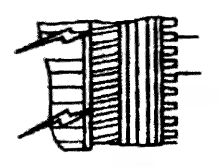
(a) 电路中某些连接点松动或氧化

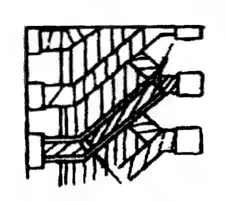
(b) 短路开关触点接触不良 (c) 电刷引线松动 (d) 电刷接触不良

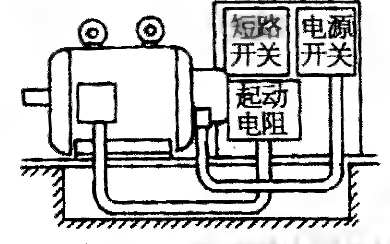
(e) 集电环严重磨损 (f) 转子引出线连接松动 (g) 导电杆与集电环接触电阻大



(h) 并头套脱落 (i) 并头套间短路 (j) 绕组层间短路 (k) 引出或中性线接头脱落







(l) 转子绕组两点对地短路 (m) 线棒折弯处有裂纹 (n) 定、转子外接线交叉接错

图 3-90 绕线转子电机电流过大、出力不足的原因

3.4.2 转子故障原因的查找方法

1. 并头套间短路

由于运行时机械力和电磁力的共同作用，使导线在薄弱的地方变形，或由于进入了导电的粉末而在两相邻并头套间形成导电层，都可造成并头套间的短路。

若两相邻并头套靠近引出线端分属两相，则在电机刚刚通电起动时，将因有较高的电位差而发生短路放电现象，从而将两者烧损。这一现象在拆出转子后是很容易看到。在不拆机的情况下，可用下述方法进行检查和初步确定。

1）测直流电阻法

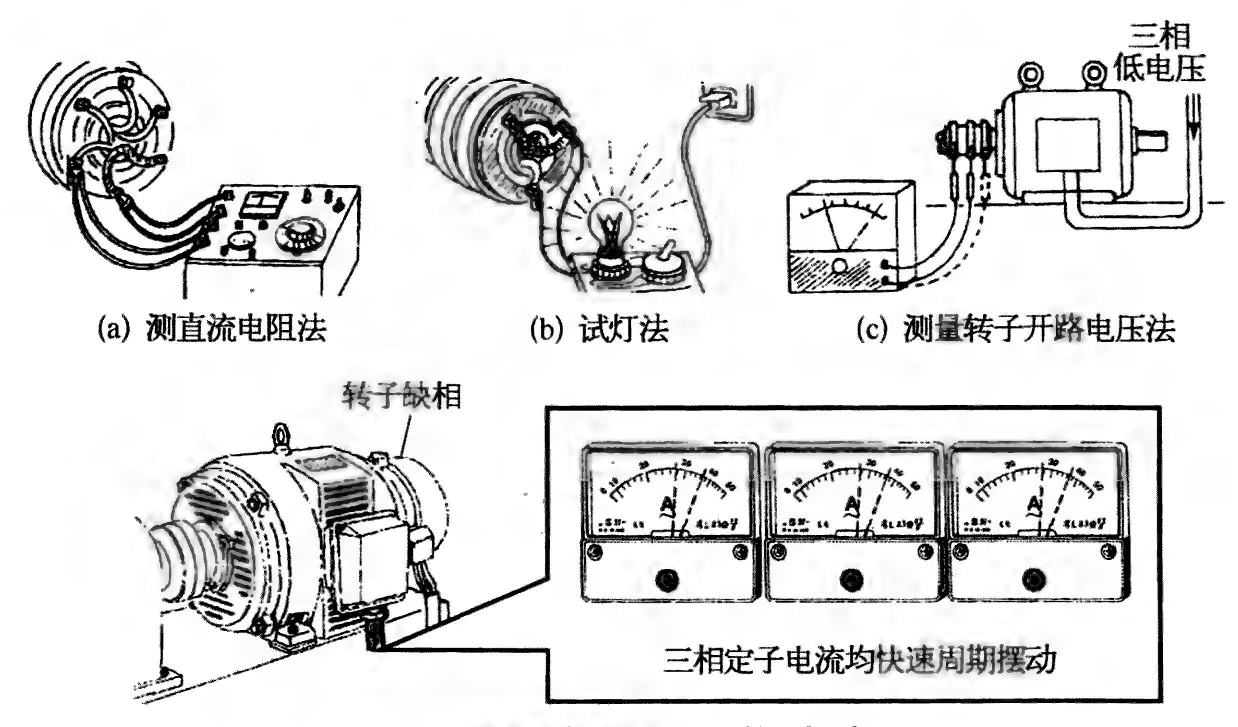
在转子引出线处测量转子绕组的 3 个线电阻。若 3 个电阻值相差较大，阻值小的并头套间可能发生了短路。如图 3-91a 所示。

2）试灯法

用一个白炽灯串联在转子绕组电路中，由 220 V 交流电源供电。分别和转子绕组 3 个引出端中的两个相接，共进行 3 次，观看每一次灯泡的亮度。亮度相同，三相正常；亮度不同时，则相对较亮时所连接的绕组并头套有短路故障。如图 3-91b 所示。

3）测量转子开路电压法

给定子加交流电压（可低于额定值）。转子输出线开路，在集电环上测量每两相之间的开路电压，如图 3-91c 所示。若三相基本相等，则无故



(a) 测直流电阻法　(b) 试灯法　(c) 测量转子开路电压法

(d) 转子缺相时定子电流快速摆动

图 3-91　查找绕线转子绕组常见故障的方法

障;若两小一大,则"两小"中共用的一相中有并头套短路故障;若两大一小,则有"一小"时所接两相之间相间短路。

2. 并头套脱焊或脱落

因并头套焊接处理不当而未能焊实时,在电机加载工作时则有可能因电阻大而过热,当达到焊锡的熔点时,就可将锡熔化并甩脱。此时,电机转子将有一相断路,形成缺相运行。

电机转子缺相运行时,定子三相电流将周期性地大幅度快速摆动(转子旋转一周摆动一次),如图 3-91d 所示,同时出现转速下降、出力不足、振动较大等现象。长时间运行时,最终将造成未断的两相转子绕组过热烧毁。

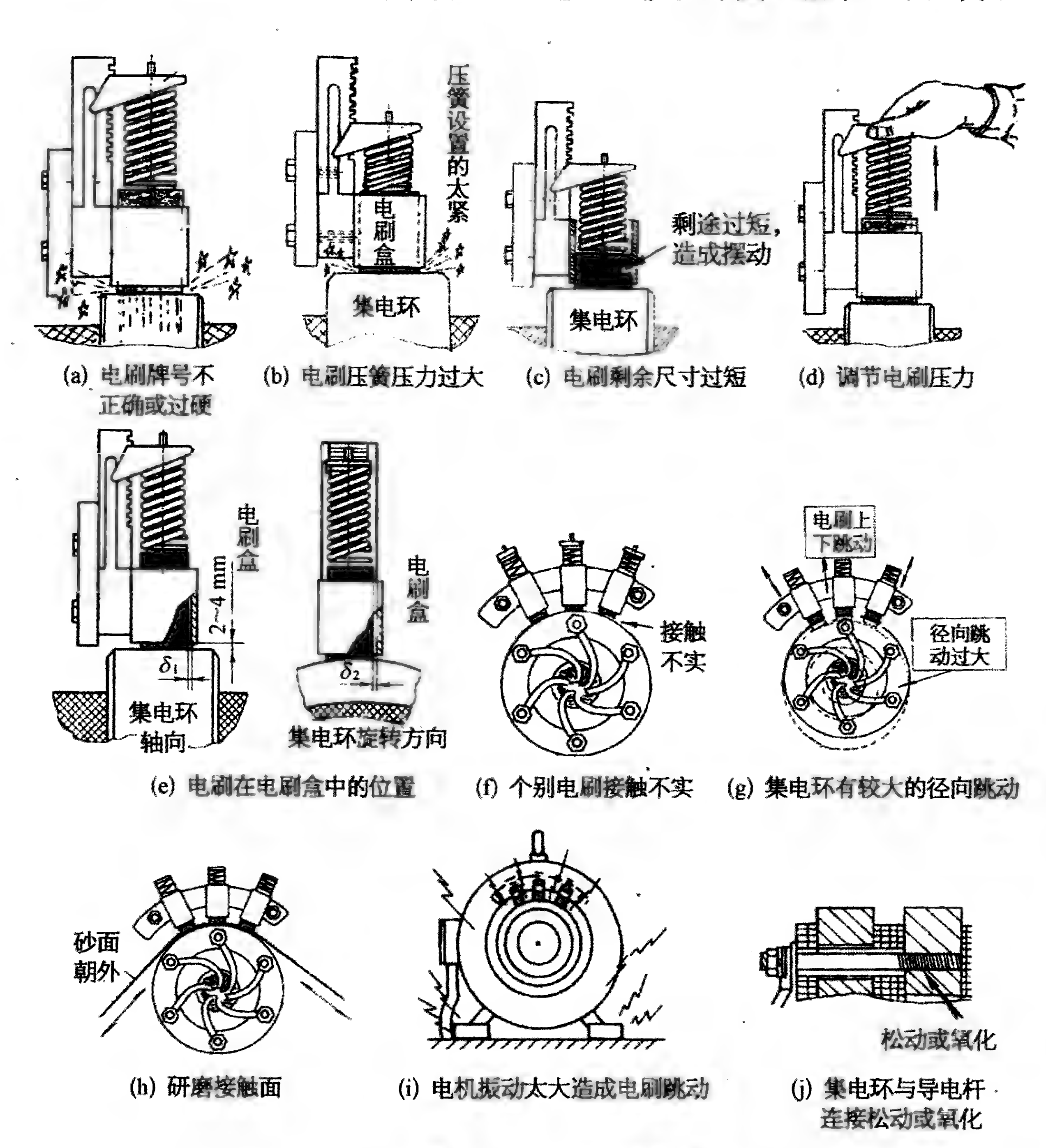
这种故障可用测量转子电阻或用示灯检查转子绕组通断的方法较容易查出。因为转子三相在内部已接成了Y形,所以在测量引出线间电阻时,将有两次不通、一次通,通的一次所接两相是好的,剩下的那相则是坏的。

3.4.3　集电环上火花大、电刷或集电环磨损较快、过热

(1) 3.4.2 所述转子电路三相不平衡的所有原因(图 3-91)都会造成火花大,并使相关电刷和集电环过热。

(2) 电刷牌号不正确或过硬、电刷所受压力过大或集电环表面粗糙,会造成集电环上火花大并磨损较快。压力过大过小的主要是因为压簧未

调整好或压簧的弹力过大或过小(可能使用了不同规格的压簧),也可能是电刷磨损后剩余长度过短(少于原长度的 1/4)造成的,如图 3－92a、b、c 所示。对图 3－92d 所示的结构,可通过上下移动弹簧压帽来调节压力。



(a) 电刷牌号不正确或过硬　(b) 电刷压簧压力过大　(c) 电刷剩余尺寸过短　(d) 调节电刷压力

(e) 电刷在电刷盒中的位置　(f) 个别电刷接触不实　(g) 集电环有较大的径向跳动

(h) 研磨接触面　(i) 电机振动太大造成电刷跳动　(j) 集电环与导电杆连接松动或氧化

图 3－92　绕线转子集电环上火花大、磨损严重、过热的原因

(3) 电刷在刷盒内过松或过紧、刷盒离滑环表面距离过大,会造成集电环上火花大。常用电机电刷与刷盒之间应有一个合理的间隙(见表 3－4 和图 3－92e),过大则会造成电刷较大的摆动,使其与滑环表面接触不稳定而产生火花;若过小,则电刷上、下移动不灵活,同样也会因接触不稳定而产生火花。

表 3-4 电刷和刷盒的配合间隙 (mm)

空隙类别	轴向空隙	沿旋转方向	
		宽度 5～16	宽度 16 以上
最小空隙	0.2	0.1～0.3	0.15～0.4
最大空隙	0.5	0.3～0.6	0.4～1.0

(4) 单个电刷电流密度较大。对一个滑环上放置多个电刷时，若其中某些电刷与滑环接触不实，图 3-92f 所示，则其他接触较好的电刷就会因分担较多的电流而发热。

(5) 电刷与滑环接触面积小于电刷截面的 75%。此时除会产生火花外，还会造成电刷过热。可用 00 号砂布来回拉动，将电刷磨成需要的接触面。如图 3-92h 所示。

(6) 集电环有较大的径向跳动。由于加工制造或使用时的磨损等原因，集电环滑环表面的径向跳动过大时，会造成电刷的跳动而产生火花。如图 3-92g 所示。

(7) 电机振动太大造成电刷跳动，如图 3-92i 所示。

(8) 集电环与导电杆连接松动或氧化会造成该集电环过热，如图 3-92j 所示。

(9) 工作环境过于干燥或潮湿，会造成电刷磨损过快。

(10) 负载太小。负载太小时，由于电流很小而不能在电刷与滑环的接触面形成一层较硬的氧化膜，使得电刷磨损较快。

3.4.4 电刷与滑环的接触面积的检查方法

电刷与滑环的接触面积的检查可用目测的方法大致得出，若要求得到较准确的数值，则可事先在电刷工作面上涂一层红丹粉或白粉笔末等，将电刷装入刷盒中，调整好压力(可略大于要求的正常值)，转动电机的转子若干圈后，取下电刷，观看被抹掉的涂层面积，该面积占电刷工作面总面积的百分数即为接触面积的百分数。

3.4.5 电刷引线(刷辫)断后的处理方法

1. 焊接法

当引线断裂但在电刷上还保留一部分时，可用与原引线相同规格的软铜线与剩余部分通过气焊或锡焊焊接在一起。

2. 铆接或用螺钉连接

在电刷上端打孔，用铆钉或螺钉将引线与电刷连接。

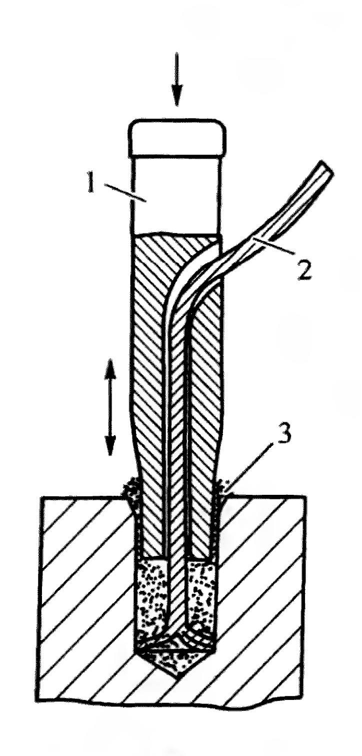


图 3-93 用塞填铜粉的方法“栽种”电刷引线

1—冲具；2—软铜线；3—铜粉

3. 用铜粉塞填压的栽种法

此法是电刷制造厂使用的一种正规生产方法，需用一个专用工具——空心冲具。该工具用钢质材料加工，下半部中心开孔并与侧面打通，加工后进行热处理来加强硬度。操作方法如下：

将电刷原引线孔用电钻打通。取一段引线，穿过冲具中心孔，将其下端分开后插入电刷接线孔中，向电刷孔穴中放细紫铜粉，将冲具下端插入电刷孔内。用小铁锤敲击冲具顶部，敲一下，将冲具向上提一下，再敲一下提一下，直到填入的铜粉被压实后再填入少许铜粉，再用冲具压实，反复上述过程，到电刷空穴填满为止，如图 3-93 所示。拿下冲具后，在电刷引线根部涂一些环氧树脂，一方面固定铜粉，一方面防止铜粉氧化。

3.4.6 集电环故障的修理方法

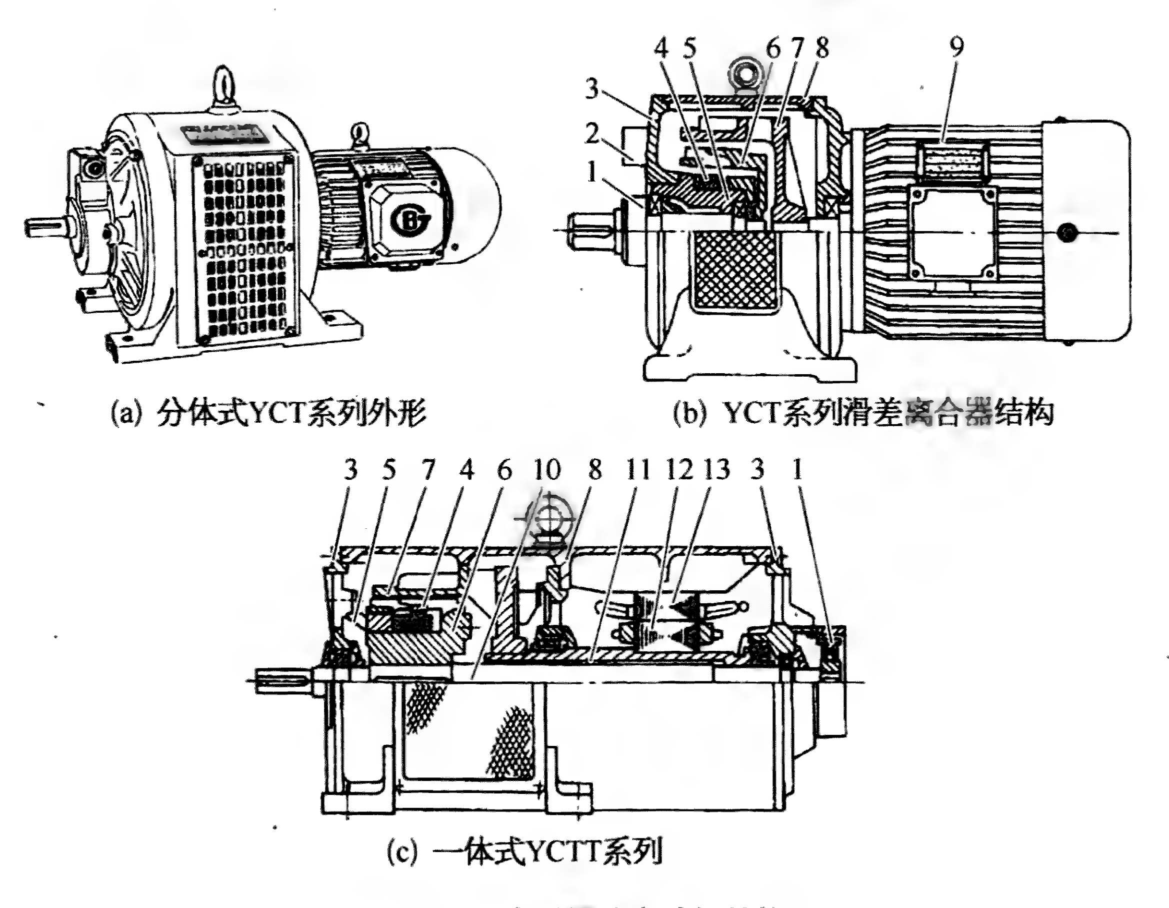
对磨损比较轻的集电环，可用砂布进行打磨，打磨时，电机通电运转，将 0 号砂布包在一块木板上，顺集电环的旋转方向进行打磨。打磨后，将磨下的粉末清理干净。对磨损比较严重的集电环，则需要将其拆下，在车床上进行车削。

4　特殊用途电动机的结构原理和常见故障处理

4.1　电磁调速电动机

4.1.1　结构

电磁调速电动机是一种可在一定范围内无级调速的三相交流异步电动机，它由普通铸铝转子异步电动机（安装方式一般为 B5 型）和电磁调速器（又称为离合器或滑差调速器）两大部分组成。这两部分有的各自单独生产，然后配套组装在一起，称为分体式或装配式，如图 4－1a 和图 4－1b 所示，原型号为 JZT 和 JZT2，现用型号为 YCT 和 YCTD，所用电机为单速（一般为 4 极）；另一种将两部分做成一体，称为整体式，如图 4－1c 所



(a) 分体式YCT系列外形　　(b) YCT系列滑差离合器结构

(c) 一体式YCTT系列

图 4－1　电磁调速电动机结构

1—测速发电机；2—出线盒；3—端盖；4—励磁线圈；5—托架；6—磁极；7—电极；8—机座；9—拖动电动机；10—主轴；11—空心轴；12—电机转子；13—电机定子

示，原型号为JZTT，新型号为YCTT。两者的主要结构和工作原理，以及使用和维护方法基本相同。

4.1.2 工作原理

电磁调速电动机的调速功能完全在于它的电磁离合器。它由两个同心但相互独立旋转的部件组成，处于内部的称为内转子，也称为磁极，有凸极式、爪式和感应子式三种结构；处于外部的称为外转子，习惯称为电枢，有绕线式、笼型、实体钢体和铝合金杯形等结构。较常用的是由爪式磁极、圆筒形实心钢体电枢组成的最简单的一种。图4-2是一种转差离合器的主要结构及工作原理图。

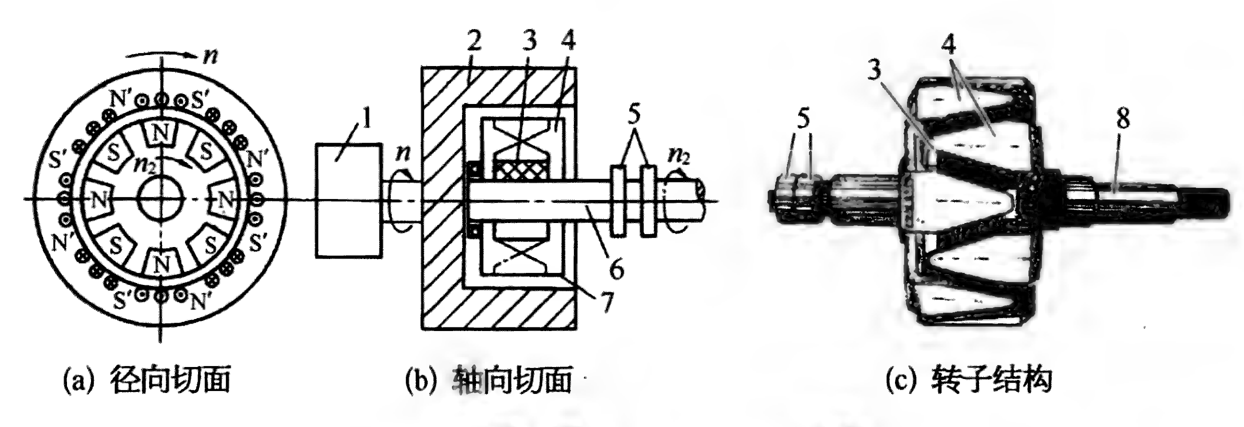


图4-2 转差离合器主要结构及工作原理示意图

1—异步电动机；2—电枢；3—励磁绕组；4—爪形磁极；5 集电环；6—输出轴；7—气隙；8—转轴

当电枢(外转子，图4-2中2)由电动机轴带动转动时，若离合器的内转子磁极没有磁性，则内转子不会转动，即输出轴不转动；当内转子磁极因励磁线圈通入直流电而形成交替的磁极时，磁极间的磁力线将通过内外转子的气隙、外转子(电枢)及磁极形成回路，旋转的实心钢质电枢切割这些磁感应线，在其内部产生感应涡流，涡流在电枢圆周上产生极数与内转子磁极相同的磁场，该磁场与磁极磁场相互作用，将磁极牵动起来随电枢转动。

可以通过分析得知：内转子磁极的转速永远低于外转子电枢(即电动机)的转速，即存在“转速差”，这类似于笼型转子异步电动机，所以也将这种调速离合器称为转差离合器；在负载一定时，励磁电流越大，磁极磁场越强，最后，内转子获得的转矩越大，其转速(即输出转速)则越高，这也是通过调节直流励磁电流来调节输出转速的原理。转差离合器的机械特性较软，即输出转速随负载的变化而发生较大的变化，特别是在低转速阶段，其机械特性更软，足可影响配套机械的稳定性。为此，在电机的轴伸

处设一个测速发电机，它发出与输出转速有关的电信号并送入控制装置，控制电机离合器内励磁绕组电流的大小，从而提高转速的稳定性。

4.1.3 测速发电机的类型和工作原理

常用的测速发电机为三相交流永磁式。在转速为 1 500 r/min 时，输出电压应不小于 40 V，频率为 200 Hz。在要求自动信号控制、多机同步运行、按比例转速并列运行或高精度调速的场合，常采用脉冲式测速发电机，其主要结构如图 4－3 所示。

磁铁及信号线圈等固定在电机机座上，转子齿轮安装于电动机离合器的输出轴上。当转子齿轮转动时，由于其外圆齿的关系，使之与磁轭端之间的间隙不断变化，从而使穿过线圈的磁通量 Φ 也发生交变，这个交变的磁通使信号线圈产生出交变的感应电动势，它的频率与转子齿数及转速成正比。常用的脉冲测速发电机在转速为 1 500 r/min 时，脉冲电压为 15 V，频率为 1 500 Hz。

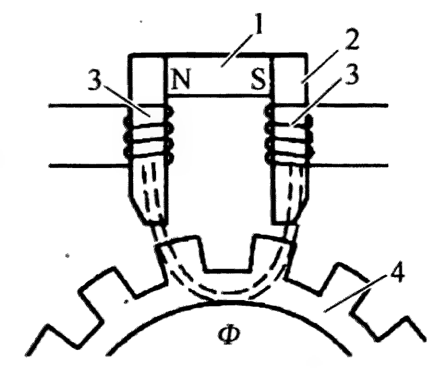


图 4－3 脉冲式测速发电机主要结构及工作原理图

1—永久磁铁；2—磁轭；3—信号线圈；4—转子(齿轮)

4.1.4 控制器类型及其配置

不同型号的调速电动机或同一型号但用途不同的调速电动机，所配用的调速控制器会有所不同，修理时若想更换，应按原用型号，否则就达不到原来的功能要求，甚至不能使用。表 4－1 给出了几个配置关系，供参考。

表 4－1 电磁调速电动机控制器

电动机型号	JZT，JZT2，YCT，YCTD		JZTT	
测速发电机类型	三相永磁式中频	单相永磁式脉冲	三相永磁式中频	单相永磁式脉冲
配用控制器型号	ZTK1，JD1A	ZTKM1	ZTK3，JD1A	ZTKM3

4.1.5 常见故障及处理方法

在此只介绍电磁调速电动机因其控制调速部分所引起的常见故障及处理方法。

图 4－4 为电磁调速电动机与速度控制器之间的连接关系。

图 4－5 是 ZTK1 控制器的线路原理图。从图中可以看到，ZTK1 型

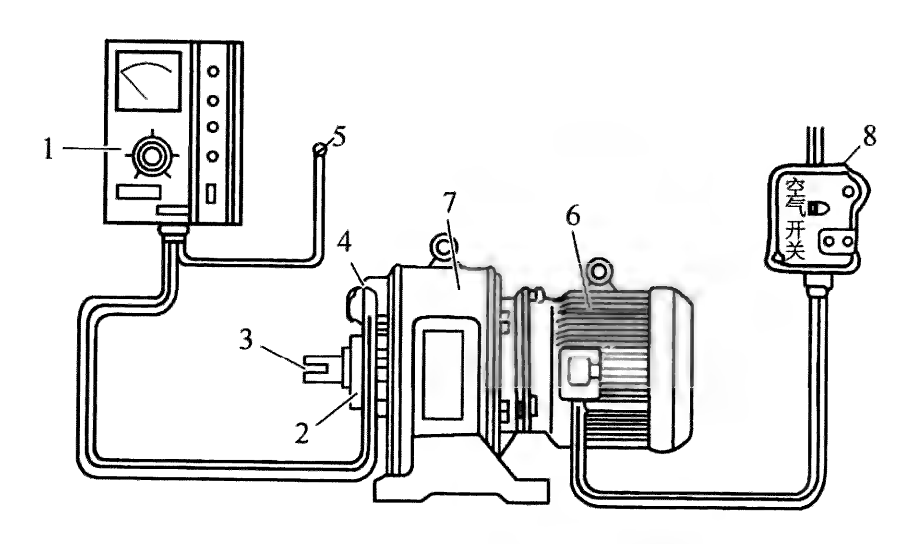


图 4－4　调速器与电动机的连线图

1—调速器；2—测速发电机；3—负载轴；4—进线盒；
5—控制电源 AC 220 V；6—拖动电动机；7—转差离合器；8—三相 AC 380 V

ZTK1型控制器线路原理图　　控制器插孔顺序图

图 4－5　ZTK1 控制器线路原理图和 19 孔控制器插孔顺序图

控制器整流系统为半波可控型(VT 为晶闸管)。V5 为续流二极管;C5、R7 为阻容吸收保护电路;RM 为压敏电阻,用于吸收交流侧的波涌电压;n 为转速表;W1 为速度调定电位器。控制器与电机离合器部分利用多线插座和插座头连接,当采用 19 孔插座时,插座孔按图 4-5 的顺序排列。其中 1、3 孔为交流 220 V 电源输入;8、10、12 为测速发电机三相电压输入;17、19 为离合器励磁电源输出。表 4-2 给出了使用 ZTK1 型时,YCT 电机所反映的故障现象原因和处理方法。

表 4-2 使用 ZTK1 型控制器的故障及处理办法(参考图 4-5)

故障现象	原因及处理方法
1. 转速摆动	励磁绕组极性接反。将 L1、L2 接线对调即可
2. 离合器失控、转速升至最高值	反馈量调节电位器 W2 损坏或插脚接触不良。前者要更换新品;后者可用酒精清洗插脚
3. 转速表指示值与实际值不一致或无法校正	(1) 永磁测速发电机退磁,当调节 W3 无法校正时,需对测速发电机充磁 (2) 测速发电机有一相短路或断路,测量三相电压是否对称,严重不对称时则有短路或断相,拆下测速发电机修理
4. 接通电源后,调整励磁电源的输出电位器,离合器不工作、转速表无指示	(1) 调速电位器 W1 断路。测 W1 两端电压,应为 18～21 V (2) 稳压管 V2、V4 或电容器 C3 击穿损坏,用示波器观察 T2 上的波形,应为能移动的脉冲列 (3) VT1 或 VT2 损坏,拆下检查,坏则更换 (4) 脉冲变压器 T2 断线,检查出断点后焊接 (5) 励磁绕组或连线断开,测量励磁绕组有无电压,如没有则为断路,查出后修复
5. 负载转速变化率很大	(1) 控制器未通往电源,测量控制器输入电压 (2) 测速发电机电压低,检查发电机故障 (3) 测速发电机绕组或线路有断路现象,查出断点后修理 (4) 控制器损坏,修理控制器

图 4-6 是 JD1A 型指针式调速器的电路原理图。表 4-3 给出了使用 JD1A 型控制器时,YCT 电机所反映的故障现象原因和处理方法。

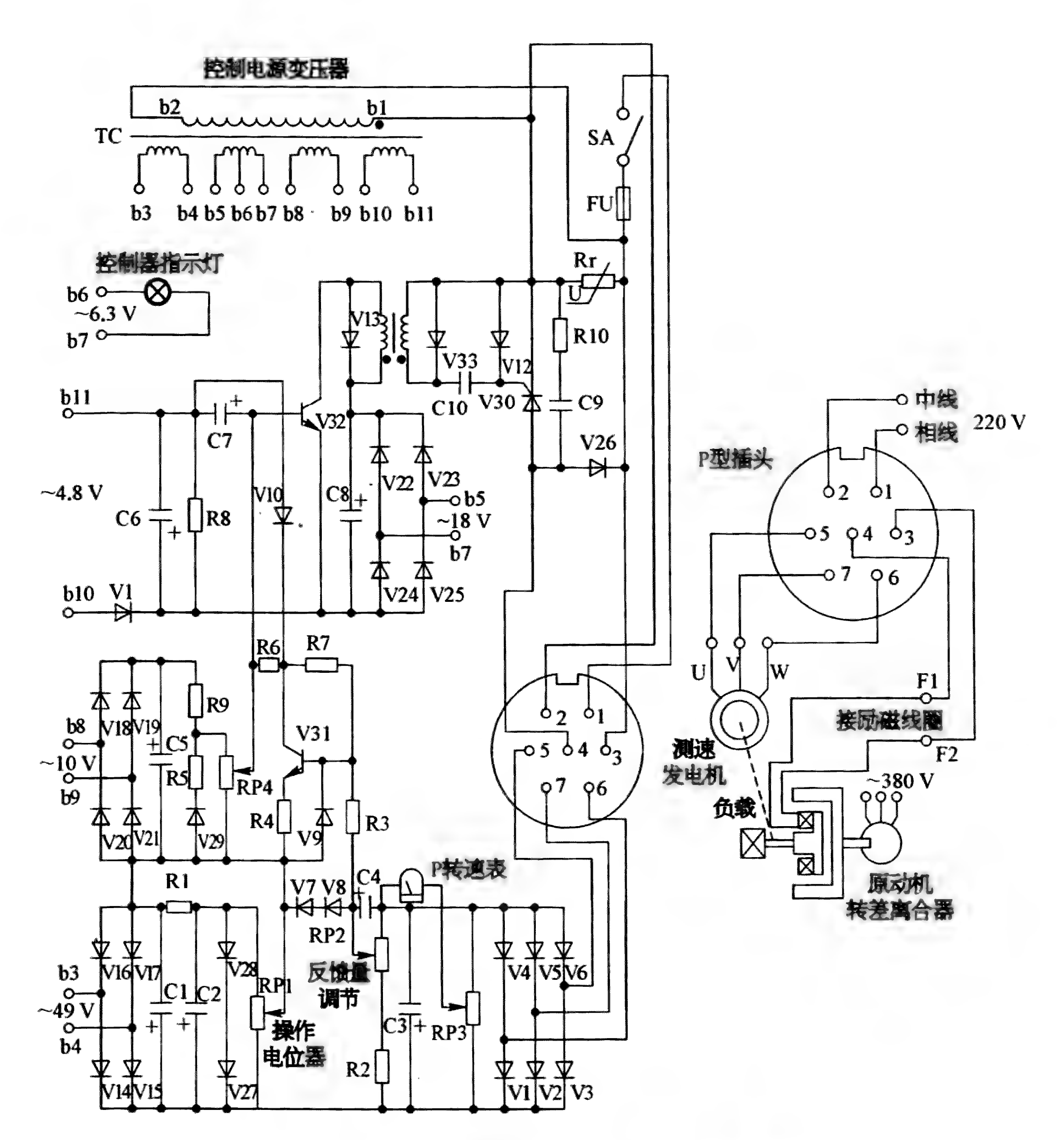


图 4-6 JD1A 型控制器电路图

表 4-3 使用 JD1A 型控制器的故障及处理办法(参考图 4-6)

故障现象	故障原因	排除方法
1. 接通电源后，熔丝熔断	① 引出线接错 ② V26 反接或击穿 ③ 变压器短路 ④ Rr 短路	① 检查引出线并改正 ② 调整或更换 V26 ③ 检查修理变压器 ④ 更换 Rr
2. 接通电源后，指示灯亮，但输出轴不转动	① RP1 断路 ② 励磁线端 3、4 开路 ③ 变压器出现故障 ④ V31、V32 损坏或 V32 开路 ⑤ 插座接触不良	① 测量 RP1 输出 V7、V8 端电压，应在 0～1.3 V 变化，R2 端电压应在 4～6 V 变化，否则为不正常 ② 检查 3、4 端，进行处理 ③ 检查修理变压器 ④ 更换 V31、V32 ⑤ 修理插座

（续表）

故障现象	故障原因	排除方法
3. 转速不能调节，只能高速，不能低速运行	① 定、转子有相擦现象 ② 反馈未接通 ③ 触发信号不同步	① 拆机检查排除 ② 检查反馈电位器 ③ 改变同步信号电压极性
4. 只能低速运行，不能升速	① V26 开路 ② 反馈量过大	① 更换 V26 ② 调节反馈量电位器 RP2
5. 某一转速运行时，周期性摆动现象严重	① 励磁线端接反 ② C4 或 C7 损坏	① 调换励磁线端 3 和 4 ② 更换 C4 或 C7
6. 电压波动严重影响转速稳定	V27 或 V28 损坏	更换 V27 或 V28
7. 当快速调节时，输出转轴不转动，而在极缓慢调节调速电位器时，转轴才转动或动一下就停止	由于前置放大输出电压过高，即“移相过头”，使晶闸管 V30 开放角过大而关闭，其原因是升后引起，或 R4、R7 损坏	更换 R4 或 R7
8. 特性硬度下降，调速电位器已到零仍有励磁输出	① 起始零调节不当 ② 使用环境温度过高	调节 R7，使 RP1 在零位时无励磁输出
9. 转速表指示与实际转速不一致，或无法调节(过低)	① 测速发电机退磁 ② 测速发电机有一相短路或开路	① 给发电机充磁或更换新品 ② 测量测速发电机输出电压，找出短路或开路相后修理

4.1.6 修理后运行的注意事项

1. 使用前应进行的准备工作

对修理后的电磁调速电动机，应按下列程序试车并达到要求后方可投入正式使用。

(1) 检查电机及离合器接线。

(2) 检查转速表示值是否为零，不在零位时，将其调整到零位。

(3) 将调速电位器调到零位。

(4) 给电动机通电，其转向应和将要配套的机械一致。

(5) 接通控制器的电源(指示灯亮)，缓慢调节调速电位器，转速表读

数应逐渐上升。如出现转速周期性振荡现象，应停机后将励磁绕组的两根接线对调，再重新调试。

(6) 校正转速表的示值，方法是：将调速电位器调定到某一位置，用单独的转速表测定电机的实际输出转速，如两者不一致，应调节控制器上的转速表校对器调整转速表，使之和专用表相符。

(7) 顺时针方向转动调速电位器至最大，调节反馈量与调节电位器使转速达到 1 350 r/min 左右(对 4 极电机)，完成调速范围整定。

(8) 上述工作完成后，使电机连续空转 1～2 h，随时注意电机噪声、振动有无异常，转速有无大的波动，轴承有无发热或漏油现象，如有上述现象应停机检查。

2. 起动、运行、停止电磁调速电机的方法和注意事项

(1) 起动：先给电动机通电起动后，在确认控制器的调速电位器处于零位时合上控制器的电源。给离合器加励磁，使负载被带动起来，调节调速电位器使负载达到要求的转速。如图 4-7 所示。

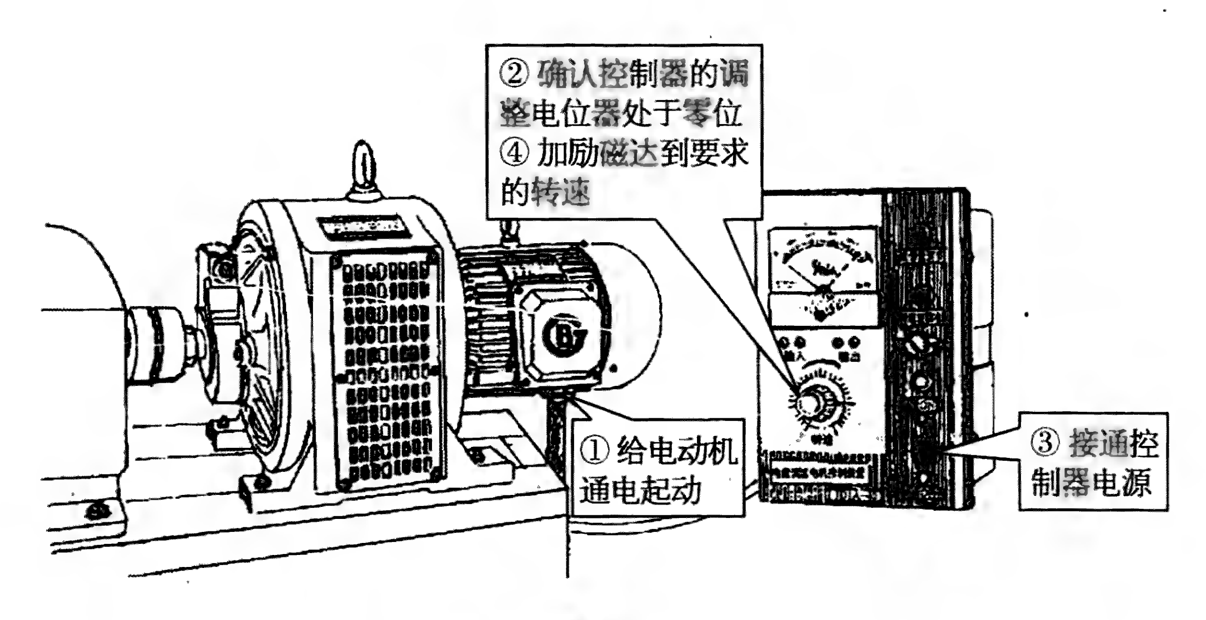


图 4-7　YCT 系列调速电动机起动控制过程

(2) 运行：随时观察转速表的指示及机组运行情况，必要时进行调整。

(3) 停止：短时停机时，可只将调速电位器调到零，使负载停止运转，而不切断电动机的电源，以减少电动机的反复起动；长时间停机时，应先将转速调到最低值后，再依次切断控制器和电动机的电源。

为保证控制器在电机通电后才能通电和在电机断电前(或同时)控制器断电，应在控制线路中设置连锁保护线路。

4.2 变频调速电机

4.2.1 工作原理和结构特点

1. 工作原理

三相交流异步电动机变频调速的原理，基于其三相绕组通入三相交流电后，转子的转速 n(单位为 r/min)与形成旋转磁场的转速 n_s(同步转速，单位为 r/min)及绕组中流通的电流频率 f(Hz)之间的关系，即

$$n=(1-s)n_s=(1-s)\frac{60f}{p}\propto f \qquad (4-1)$$

式中 s——转差率，$s=(n_s-n)/n_s$。

p——定子绕组通电后产生的磁极对数。

变频调速的优点是可以平滑地进行大范围无级调速，调速性能优越，应用范围广；缺点是需要配置变频电源设备，投资较大，控制和维护技术相对复杂。

2. 结构特点

变频调速电动机的结构与普通电动机基本相同。

对于需要在较低转速下工作的品种，在外观上的不同点是用一个单独供电的风机代替普通电动机的外风扇，其目的是满足低频率时的冷却散热问题。另外，为了降低变频电源的谐波影响，在电磁设计上与普通电机有所不同；再有就是为了减少因变频电源随机产生的高压脉冲对绕组绝缘的损伤(容易发生匝间击穿故障)，使用一种防电晕能力较强的“变频电磁线”制作定子绕组。

国家标准规定的变频调速电动机的型号为 YVF。

4.2.2 需要变频器与工频电源切换的几种情况和切换方法

1. 需要将变频电源切换成工频电源的两种情况

(1) 当变频器出现故障短时不可修复，同时电源设备容量能承担电动机满压起动时。若电源设备容量不能承担电动机满压起动，则应考虑在起动电路中串联电阻、电抗器等进行降压起动。

(2) 需要较长时间以额定转速运行时。切换成工频电源后可以节省电能 5%左右，并且消除由于变频器运行造成的诸多不利因素。

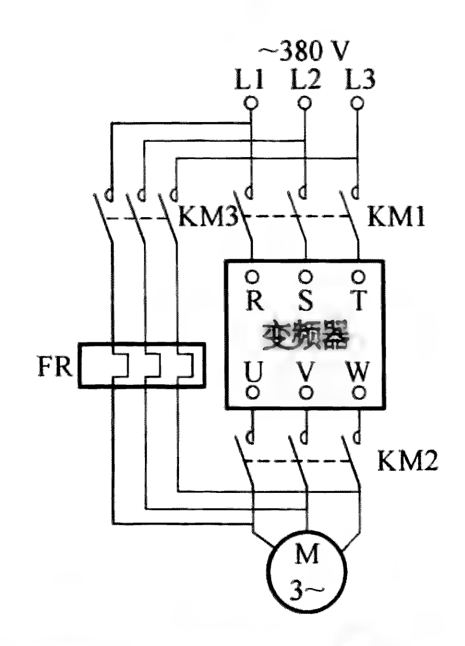


图 4-8 在变频器两端并联旁路接触器的电路

2. 实施措施

可在变频器输入输出两端并联一个旁路接触器。通过该接触器给电动机提供工频电源。但为了保护变频器，应在变频器两端各接一个接触器，用于断开变频器与电源的连接。另外，需在旁路接触器电路中设置热保护装置。如图 4-8 所示。

3. 切换的程序

以下内容涉及的元件按图 4-8 所标注的元件符号。

首先打开接触器 KM2，断开变频器与电动机之间的电路。经适当延时后（通常称为“切换时间”，用符号 t_c 表示），合上旁路接触器 KM3，再断开 KM1。

4. 切换的要求和注意事项

（1）在合上旁路接触器 KM3 之前，必须确认变频器与电动机之间的 KM2 已断开。否则将会使变频器的三相逆变管之间加上电源电压，造成相间短路使之烧坏。所以应对 KM3 和 KM2 设置机械与电的互锁装置和电路。

（2）由断开接触器 KM2 到闭合 KM3 的延时时间，应尽可能短，以防止切换时因转速下降过多的情况下突然通电加速而产生较大的冲击电流。一般应保证在转速下降不超过额定转速 30%的时间内完成切换较为适宜。

（3）切换时，还会因电动机停电后运转产生的定子电动势与电源电压叠加等原因，造成较大的冲击电流，当定子电动势与电源电压相位刚好相反时，冲击电流最大，严重时可达到直接起动的 2 倍。应采取适当的措施避免产生此类情况，例如利用变频器的“频率搜索”功能，使用“差频同相”的切换方法等。

4.2.3 在某一频率段运行时噪声或振动大的原因及处理方法

有时，变频调速电机在某一频率段运行时，出现噪声大或振动大的现象，例如在 30 Hz 附近，如图 4-9 所示。这是因为电动机及其连接的负载、安装基架等组成的机械系统（以电动机为主）的固有振荡频率刚好与此时运转所造成的振荡频率相等或很接近，由此发生了“机械谐振”，或者称为“共振”的结果。

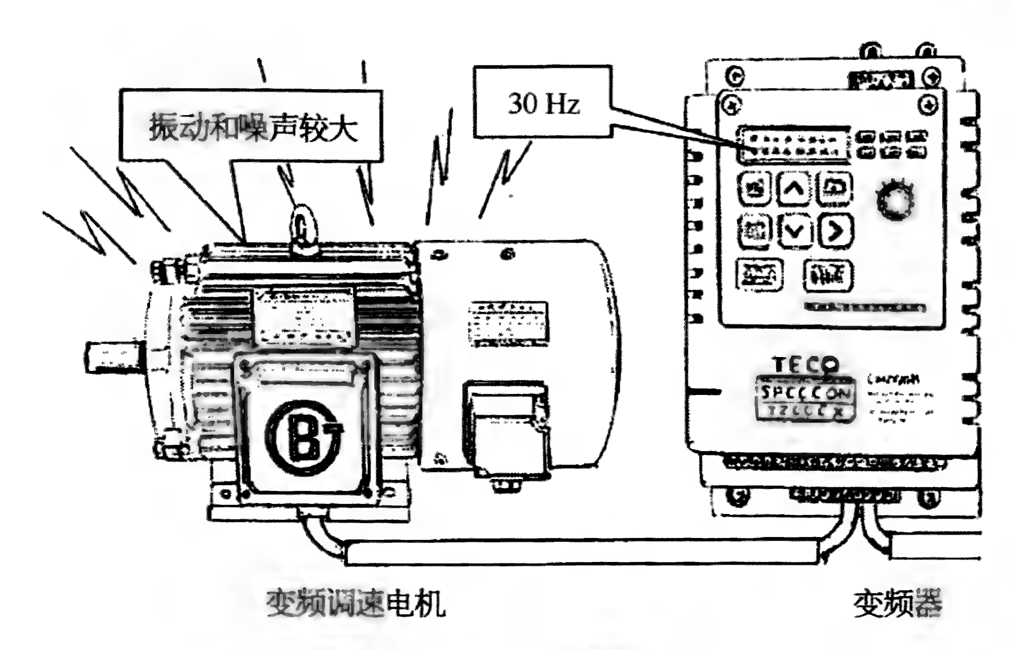


图 4-9 变频调速电动机在某一频率段噪声和振动大

出现这种不利现象时，可以采用改动设备支撑设备或电动机机械部件的结构等方法，来改变其固有振荡频率，转移或消除“机械谐振”点。但实践证明，此方法不易实现，也较难根除上述弊病。

比较实际的方法是采用“打不起，躲得起”的“逃跑”战术。即利用在变频器内所设置的“频率跳变”功能，按实际使用时测量到的“共振频率”，设置“回避频率”或“跳跃频率”点，在运行调节频率的过程中，自动“跳过”共振频率点(实际上是一个较小的频率范围，一般在 2 Hz 以内)。

“频率跳变”功能是通过安装“频率跳变”元件来实现的。在整个频率运行范围内，一般可设置 3 个频率跳变点。

4.3 变极多速电机

4.3.1 变极多速电机的工作原理

依据式(4-1)，当改变电动机定子绕组所形成旋转磁场的极对数 p 时，转速即将随之改变。该方法是通过改变定子绕组的接线方法或设置多套绕组来实现的。这种调速方法称为“变极”调速，是一种有级的调速方式，每级的转速比最少为 4∶3(6 极和 8 极或 8 极和 12 极)，最多为2∶1(2 极和 4 极或 4 极和 8 极等)，后者称为倍极比。我们常说的“多速电机”实际上就是这种电机的简称，我国现用系列号为“YD×××-×/×”。常用的为两个转速，例如 2/4 极、4/8 极、4/6 极等。另外常用的还有三速或

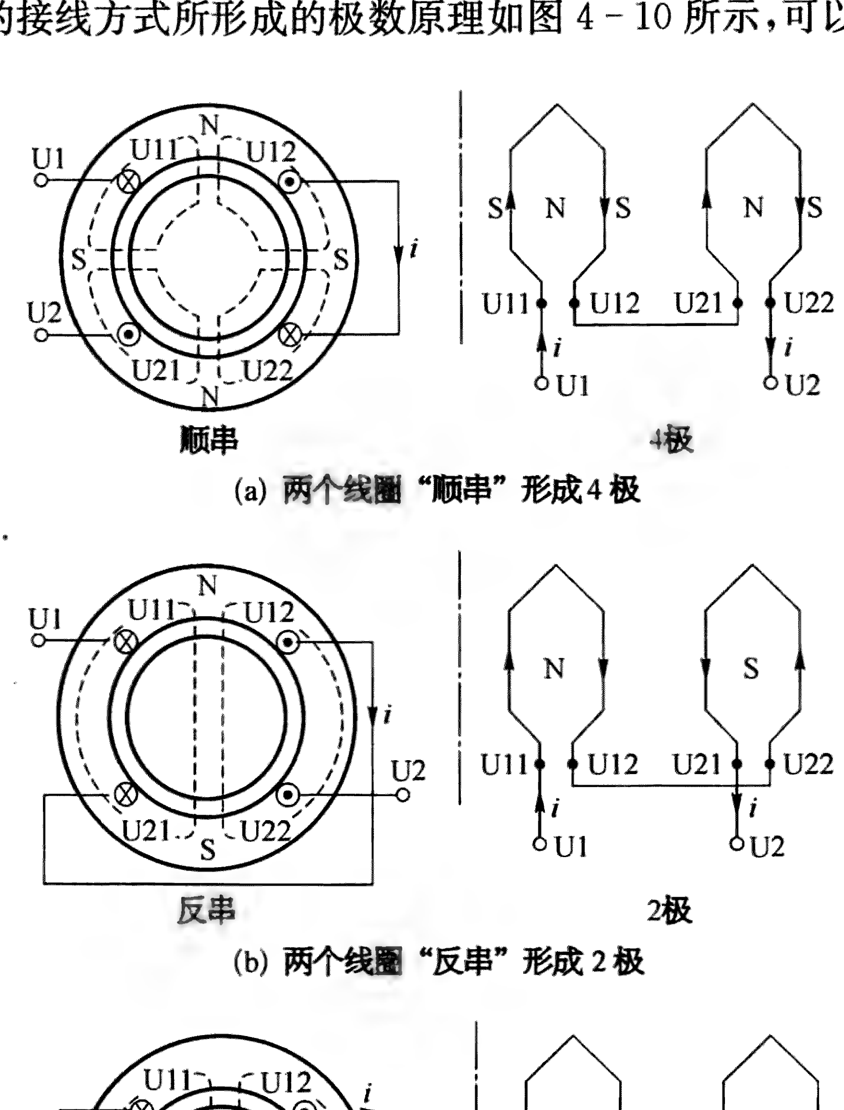
更多速度的类型，例如 4/6/8 极和 4/6/8/12 极等。

在性能上，当使用同一机座号时，变极多速电机的额定容量一般要小于普通单速电机。另外，它的效率、功率因数等指标往往要低，特别是其中的某一极数(一般是多极数的)运行时的电磁噪声会比同一规格的单速电机大，这一点对于“倍极比”多速电机更有可能发生。

下面简要介绍这种多速电动机的工作原理。

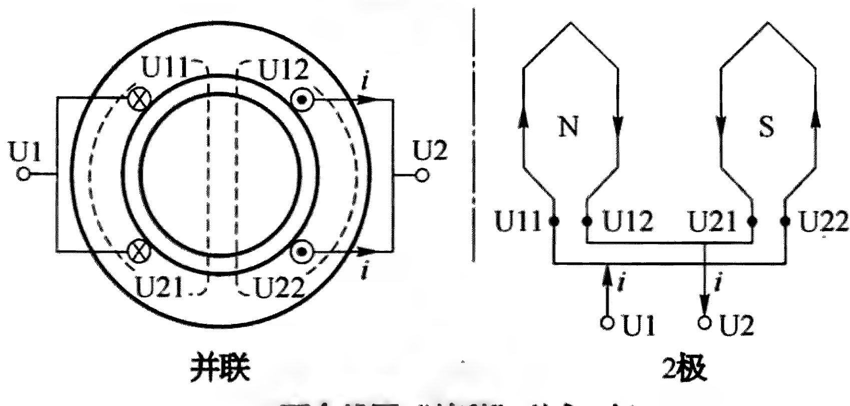
1. 一套绕组形成“倍极比”的 2/4 极

不同的接线方式所形成的极数原理如图 4－10 所示，可以看到，同一



(a) 两个线圈“顺串”形成 4 极

(b) 两个线圈“反串”形成 2 极



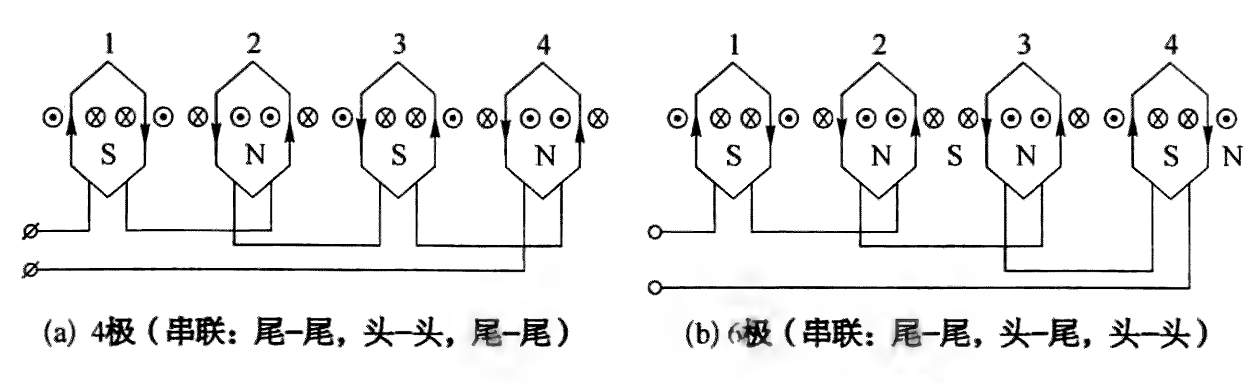
(c) 两个线圈“并联”形成 2 极

图 4－10 2/4 极变极多速电机的变极原理

相的两个线圈，同样是串联，两个线圈的头和尾相连（称为“顺串”）就会形成4个磁极，尾和尾相连（称为“反串”）就会形成两个磁极，两个线圈头和尾相连再分别引出一条线时形成的并联，将形成两个磁极。

2. 一套绕组形成的4/6极

图4－11所示为一台用一套绕组通过一相绕组4个线圈不同的串联方式得到4和6两种极数的原理，图中的⊙表示磁感应线穿出，⊕表示磁感应线穿入。



(a) 4极（串联：尾–尾，头–头，尾–尾）　(b) 6极（串联：尾–尾，头–尾，头–头）

图4－11　4/6极变极多速电机的变极原理

4.3.2　变极多速电机线端标志的特点

和单速电机的线端标志相比，变极多速电机线端标志的特点是：每一个极数的出线端（将要与三相电源相接的线端）都用U、V、W三个字母分别表示一相，用在上述字母前加数字的方式说明极数的多少。具有两个极数的，极数少的（高速）为1，即三相分别为1U、1V、1W，极数多的（低速）为2，即三相分别为2U、2V、2W；若为三个极数，则极数少的（高速）仍为1，即三相分别为1U、1V、1W，中间的（中速）为2，即三相分别为2U、2V、2W，极数最多的（低速）为3，即三相分别为3U、3V、3W。

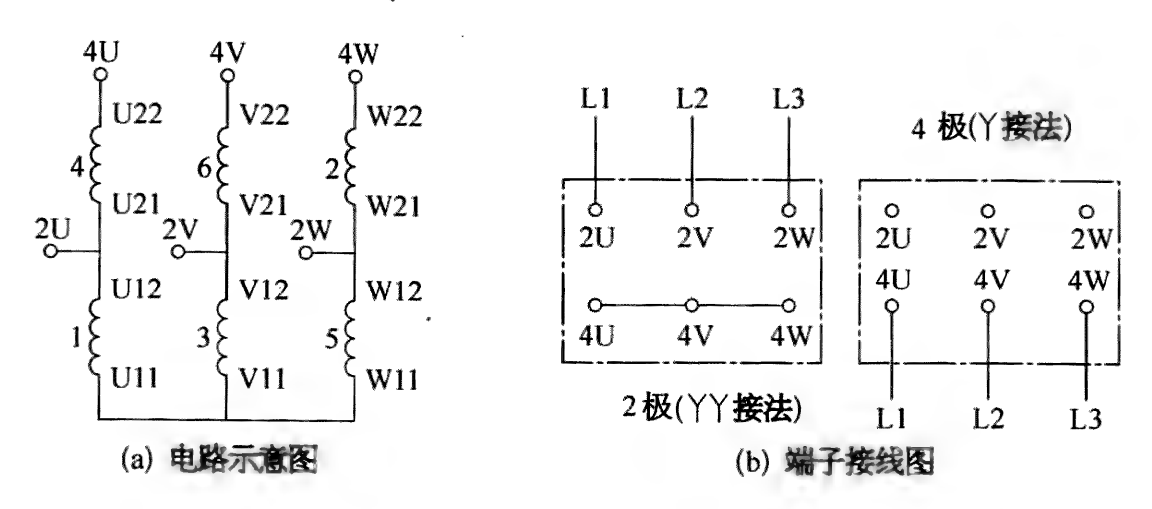
在实际应用中，还经常将与电源相接的端子标号数字直接写成该极数的数字。例如2/4极电动机，2极与电源相接的端子标号写成2U、2V、2W，4极与电源相接的端子标号写成4U、4V、4W。如图4－10所示。

4.3.3　常用的变极多速电机接线方法

1. YY/Y连接方式2/4极电机的接线

YY/Y接法变极多速电机的绕组内部和外部连接方法如图4－12a所示，这种接线方式的双速电动机具有恒功率特性。其每相绕组都由两组线圈串联组成，中间连接点各引出一条线，分别用2U、2V、2W标志；一

端在电机端部接线时封在一起；另一端引出 3 条线，分别用 4U、4V、4W 标志。所以共引出 6 条线。



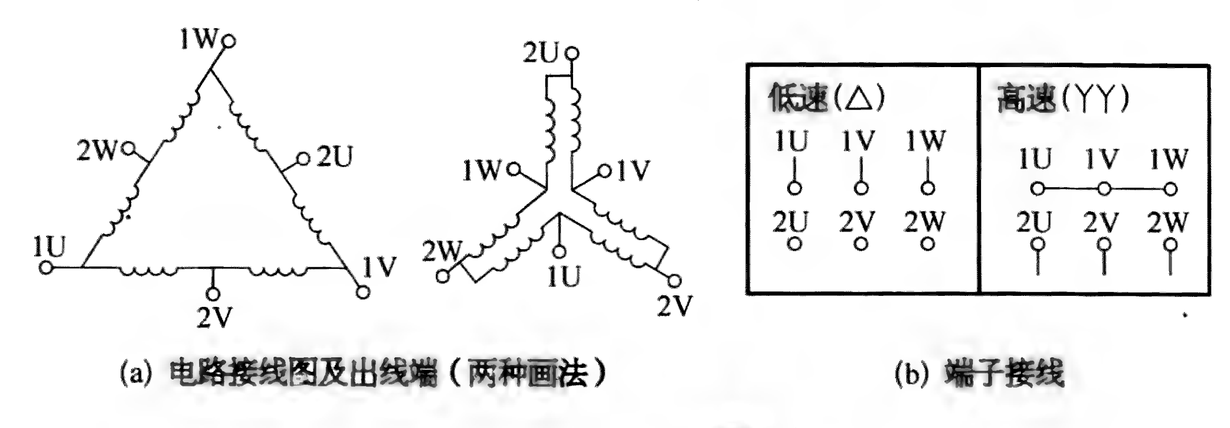
(a) 电路示意图 (b) 端子接线图

图 4-12 YY/Y 接法 2/4 极变极调速电机绕组的连接

将 4U、4V、4W 三端连接在一起（封星），由 2U、2V、2W 三端进入电源，即YY接法（双星），是高速（2 极）接法；由 4U、4V、4W 三端进入电源，2U、2V、2W 三端空着不用，就是Y接法（单星），是低速（4 极）接法。如图 4-12b 所示。

2. △/YY 连接方式 4/2 极电机的接线

△/YY 接法变极多速电机的绕组内部和外部连接方法如图 4-13a 所示，这种接线方式的双速电动机具有恒转矩特性。其每相绕组都由两组线圈串联组成，中间连接点各引出一条线，分别用 2U、2V、2W 标志；每两相的一端在电机端部接线时连在一起并引出 1 条线，分别用 1U、1V、1W 标志。所以共引出 6 条线。



(a) 电路接线图及出线端（两种画法） (b) 端子接线

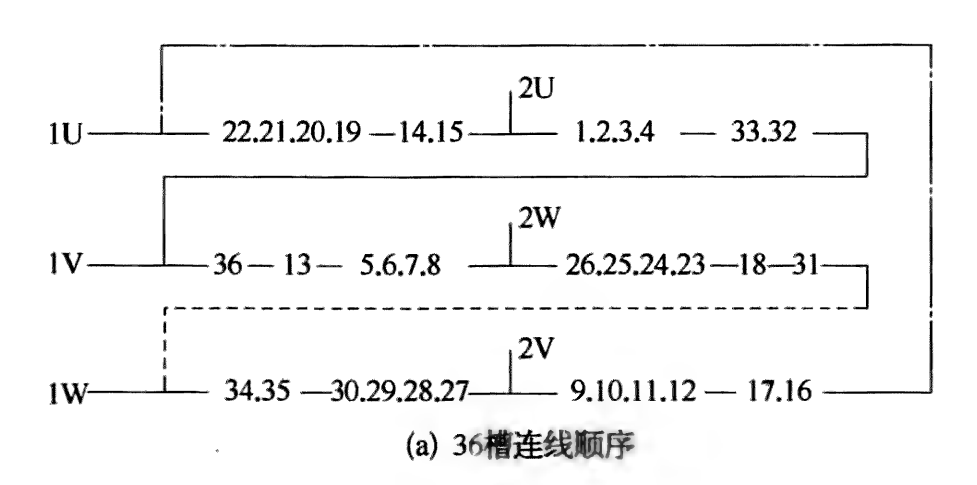
图 4-13 △/YY 接法 4/2 极变极调速电机绕组的连接

将 1U、1V、1W 三端连接在一起（封星），由 2U、2V、2W 三端进入电源，就是YY接法，是高速（2 极）接法；由 1U、1V、1W 三端进入电源，2U、2V、2W 三端空着不用，就是一个△形连接，即△接法，是低速（4 极）接法。

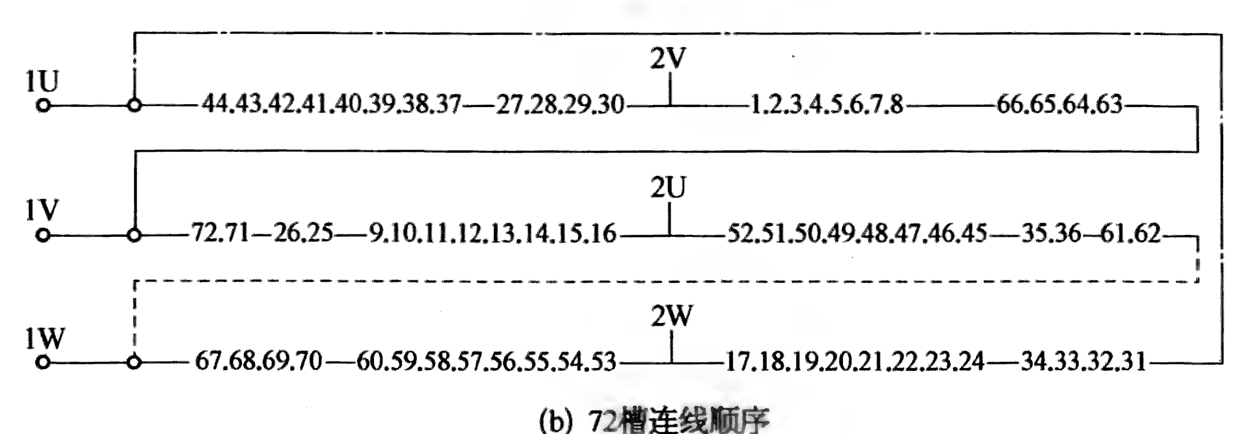
如图 4-13b 所示。

3. △/ＹＹ连接方式 6/4 极电机的接线

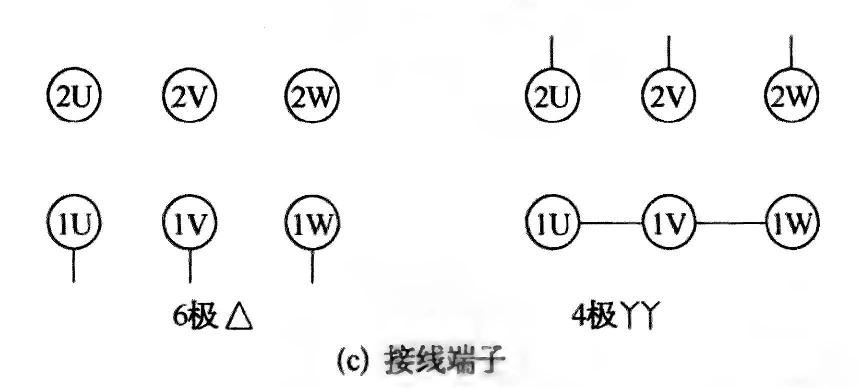
由一套绕组通过不同的接线方式形成的△/ＹＹ连接方式 4/6 极电动机 6 个出线端的内部及端子接线与上述△/ＹＹ连接方式 4/2 极完全相同，但每一相绕组不只由两段完全相同的绕组串联或并联组成，而一般是由多个不同节距和匝数的线圈串联组成，图 4-14a 和图 4-14b 分别给出了 36 槽和 72 槽的连线顺序（图中数字为槽顺序号，下同）。图 4-15 为 72 槽 6 极可接成星形和三角形两种连接方式的连线顺序与出线端子接线图（9 个出线端）。



(a) 36槽连线顺序



(b) 72槽连线顺序



(c) 接线端子

图 4-14 △/ＹＹ 接法 6/4 极变极调速电机绕组的连线顺序

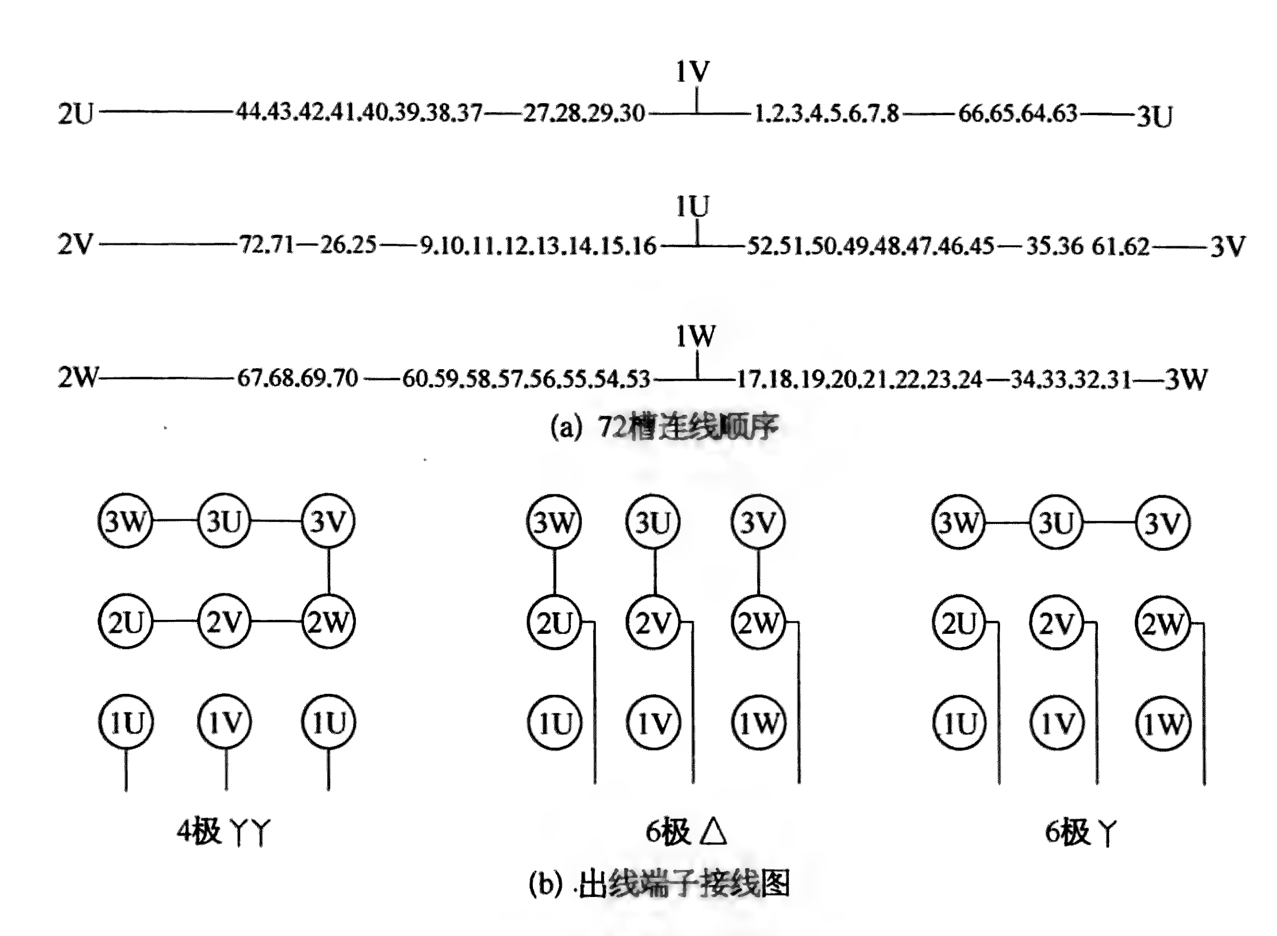


图 4-15 △/YY 接法 6/4 极变极调速 6 极可星-三角转换的电机绕组接线图

4. Y/△/YY 连接方式三速电机出线端的接线

Y/△/YY 三速电机的接线方式，其中第一个（Y）为一套绕组，后两个（△/YY）为另一套可通过改变接法形成两种磁极个数的绕组，一般为 9 个出线端，出线端子接线方法如图 4-16 所示。

2极(YY)	4极(△)	6极或8极(Y)
1U1 1V1 1W1	1U1 1V1 1W1	1U1 1V1 1W1
2U 2V 2W	2U 2V 2W	2U 2V 2W
1U3 1V3 1W3	1U3 1V3 1W3	1U3 1V3 1W3

图 4-16 Y/△/YY 连接方式三速电机出线端子接线图

5. △/Y/YY 连接方式三速电动机出线端的接线

△/Y/YY 是三速电动机的另一种接线方式，其中第一个（△）为一套绕组，后两个（Y/YY）为另一套可通过改变接法形成两种磁极个数的绕组，一般为 9 个出线端，出线端子接线方法如图 4-17 所示。

4极(YY)
1U1 1V1 1W1
2U 2V 2W
1U3 1V3 1W3

6极(Y)
1U1 1V1 1W1
2U 2V 2W
1U3 1V3 1W3

8极(△)
1U1 1V1 1W1
2U 2V 2W
1U3 1V3 1W3

图 4-17　△/Y/YY 连接方式三速电机出线端子接线图

6. △/△/YY/YY 连接方式四速电动机出线端的接线

△/△/YY/YY 接线方式为 4 速的变极调速电机。有两套可通过改变接法形成两种磁极个数的绕组，一般为 12 个出线端，接线方法如图 4-18 所示。

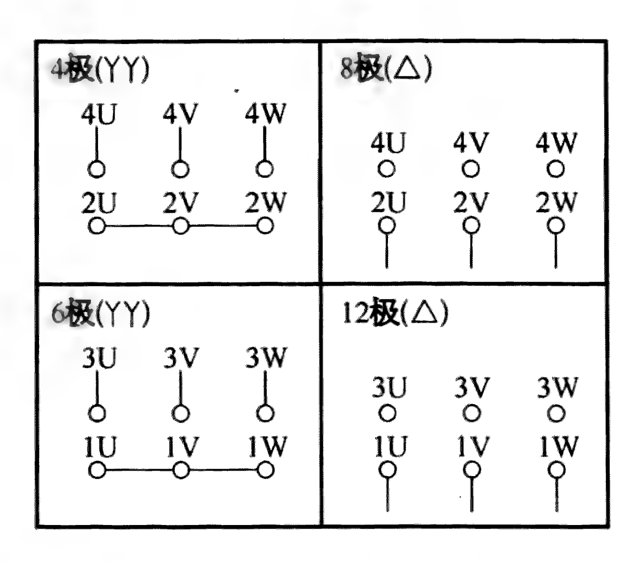


图 4-18　△/△/YY/YY 连接方式四速电机的端子接线图

4.3.4　使用变极多速电机注意事项

(1) 对双绕组变极多速电动机的各套绕组须分别进行对地绝缘电阻检查。

(2) 电机使用前应采用万用表或直接通电的方法，检查各转速的旋转方向。以免在同样相序与电源的连接时，出现转向不同的情况。转向应与控制系统和设备的要求相符合。

(3) 注意出线端子与电源线的连接，是连接还是空着不用应分清。

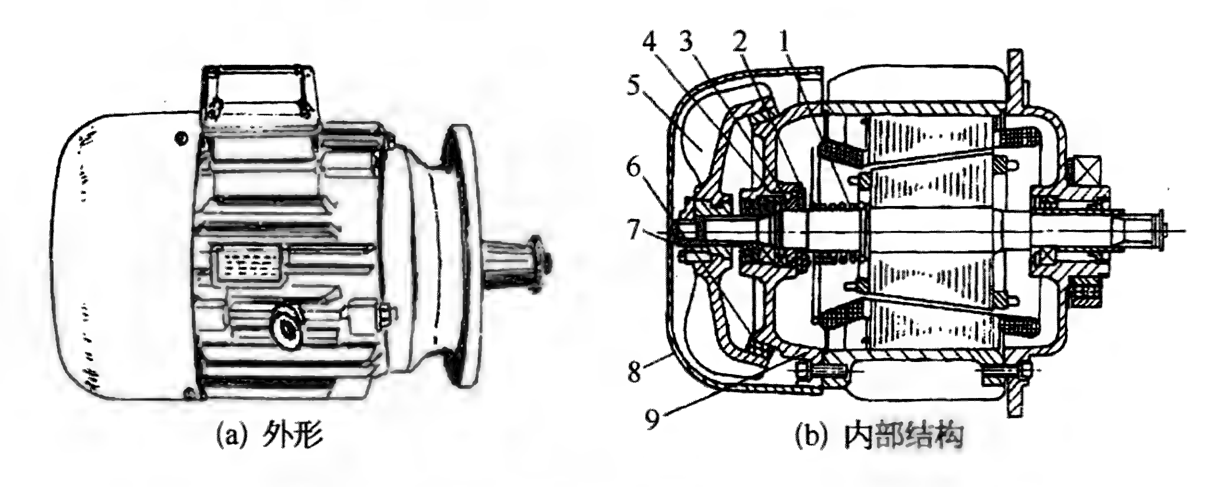
(4) 有些规格电机在某一种转速时电磁噪声可能较大。这往往由设计缺陷造成。不可试图改变它。

(5) 转速切换时应缓慢适当，避免造成较大的冲击。

4.4　锥形转子制动电机

4.4.1　结构特点和制动原理

图 4-19 所示为 YEZ 系列小型锥形转子三相异步制动电动机结构。此类电机转子外圆和定子内圆均为圆锥形，其锥形制动环镶于风扇



(a) 外形　　(b) 内部结构

图 4-19　YEZ 系列锥形转子三相转子三相异步电动机结构

1—制动弹簧；2—缓冲碟形弹簧；3—支承圈；4—推力转承；5—风扇制动轮；6—锥形制动环；7—调整螺母；8—风罩；9—后端盖

制动轮 5 上；静制动环 6 镶在后端盖上。

定子通电前，即电机静止时，转子在弹簧 1 和 2 的作用下，向轴伸方向平移(此时转子铁心与定子铁心在轴向上是有一定长度的错位)，使外风扇上的动制动环和端盖上的静制动环相接触，其静摩擦力可阻止转子的转动(包括带一定的转向负载转矩)。

定子通电后，由于电磁力的作用，转子将向风扇端平移。从而压缩弹簧 1 和 2 并使动制动环离开静制动环，使转子脱离制动状态，开始加速运转达到正常工作状态。

定子断电后，作用在转子上的轴向力随之消失，在弹簧 1 和 2 的作用下，动、静制动环相控并产生制动转矩，使转子很快停转并处于制动状态。

制动转矩的大小应在一个合理的范围内。过大则可能造成动、静制动环脱不开，使运行时阻力过大而造成电机过热；过小则不能在规定的时间内制动停转。

表 4-4 给出了提升锥形转子电动机的制动转矩最小限值。

表 4-4　提升锥形转子电动机制动转矩最小限值

电机功率(kW)	0.2	0.4	0.8	1.5	3	4.5	7.5	13
制动弹簧工作压力(N)	42.2	19.8	153	273.6	461	682	883	1 035
制动转矩最小限值(N·m)	2	4.9	9.8	19.6	44.2	62.8	98.1	185

4.4.2　起动困难或制动转矩不足的原因和处理方法

1. 起动困难的原因和处理方法

(1) 制动环锈蚀，使动、静制动环之间不能完全脱离而产生摩擦阻

力。用细砂布打磨制动环，除去锈蚀；严重时应更换制动环。

(2) 弹簧压力过大，使电机的磁拉力不能克服其弹力。不打开或不能全部打开动制动环。调整或更换弹簧。

(3) 动、静制动环之间的间隙过小，在完全打开时，仍有局部接触并摩擦。调整间隙到合适的数值。

2. 制动转矩不足的原因和处理方法

(1) 弹簧弹力减少，应更换弹簧。

(2) 制动环磨损过多，应更换新的制动环。

(3) 制动环松动，应紧固松动部位。

4.4.3 绕组过热的特有原因和处理方法

所谓特有原因，是指那些与普通电机不同的原因。由于电机在频繁起、停时，制动弹簧过度疲劳而变软，使压力下降、制动转矩减小，不能平衡电机运行中轴向磁拉力，从而造成定、转子相擦，产生大量热量，使电机温度升高过热，严重时会使绕组烧毁。

为防止此类事故，平时应注意加强气隙的调整，发现弹簧变软时，要立即更换。

4.4.4 修理锥形转子电机制动器的方法

1. 制动弹簧压力下降时的修理

(1) 在弹簧的支承圈和推力轴承之间加一个厚度适当的垫圈，如图 4-20 中的 5。这种方法适用于弹力减少不多的情况。

(2) 加大弹簧支承圈的厚度，即制作一个加厚的支承圈来更换原用的支承圈。

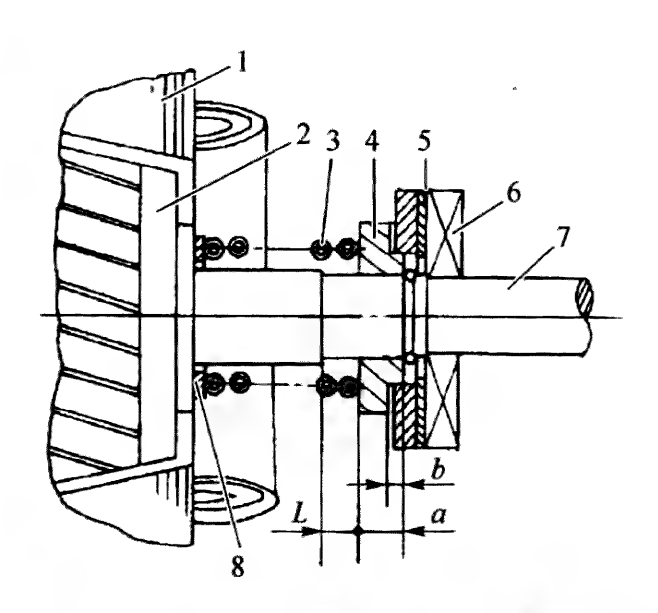


图 4-20 制动弹簧弹力下降时的修理

1—定子铁心；2—转子铁心；3—制动弹簧；4—支承架；5、8—增加的垫圈；6—推力轴承；7—转轴

确定支承圈厚度增加量 Δa（参见图 4-21）的方法是：先测出电机实际轴向位移 b，即调节锁紧螺母，测量制动弹簧刚刚开始压缩时轴端的位置到锁紧螺母紧到调不动的极限时轴端的位置之间的距离。当小

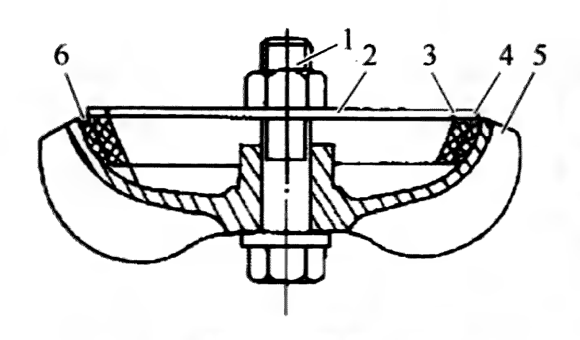


图 4-21 制动环的胶粘修理示意图

1—螺栓；2—压板；3—内制动环(石棉树脂)；4—外制动环(氯丁橡胶)；5—风扇制动轮；6—胶合面

于支承圈内侧面到轴上台阶处的距离 L 时，说明当定、转子铁心相互接触时，轴上台阶仍没有碰到支承圈内侧面，则这个台阶不能起到限位作用，电机运行时就可能发生定、转子相擦，此时应增加支承架厚度 a。增加的数值 Δa 为：

$$\Delta a > (L-b)(\text{mm})$$

一般取 $\Delta a=(L-b)+(0.5\sim1)\text{mm}$

Δa 不宜过大，否则将减少调整间隙，使制动转矩调整困难。

当 $L=b$，且定、转子铁心有局部相擦时，可使 $\Delta a=0.5\sim1\,\text{mm}$，否则高速调整间隙过小，造成调节困难。若定、转子无相擦现象，可减少支承圈的厚度来增大 L，以达到增大轴向运动行程和调整间隙的目的。

(3) 在弹簧与转子平面间加垫片，见图 4-21 中 8。可增加弹簧的预压力。适用于转子轴向运动行程合适的情况。

2. 制动环的修理

制动环由两种不同材料分内外粘合而成，如图 4-21 所示。当然最先损坏的往往是外层。此时，可采用 XY—401 胶粘剂对其进行粘合修理，具体工艺如下：

(1) 将拆下的外风扇(带制动环)固定在一个台钳上，用扁铲沿外环与风扇制轮接触边轻轻撬动，取下制动环。

(2) 清洗。去除外环与风扇制动轮两锥面间杂质污物，并打磨两表面，然后用汽油或丙酮清洗后干燥。

(3) 涂胶。用硬毛刷沾上胶液，均匀地涂在两锥面上。第一层厚度为 0.1～0.5 mm，在室温下自然干燥后，再涂第二层。

(4) 压粘。将风扇制动环与外环已涂胶的锥面进行加压粘合。先将风扇制动环放平(锥面朝上)，用螺栓固定在台钳上，再放上制动环，注意边对齐。之后加压板，用扳手缓慢旋压(压力在 70～80 N 左右)。最后在室温下放置 48 h，即可使用。

3. 更换制动环

当制动环磨损严重时，应更换。

更换过程中，应注意清除旧环使用时所产生的毛刺，可在新环橡胶圈上蘸些水润滑，以便容易嵌于风扇制动轮上；在车削加工时，最好把嵌有新环的风扇制动环装在花键上，按花键芯轴定心加工，这样加工的制动环锥面与转轴的同心度高，刹车制动可靠。

4.4.5 调整锥形转子电机制动转矩的方法

参看图 4-22。先松开螺钉 1，按顺时针方向旋动锁紧螺母 2，以增加弹簧的压力，从而获得较大的制动转矩。

调整时，可通电或用力压电机轴伸端面进行观察，通常轴向移动量为 1.5 mm 左右为宜。

根据经验，可先按顺时针旋紧螺母到旋不动为止，再反向旋松该螺母 1 圈半左右，一般可达到调整要求。

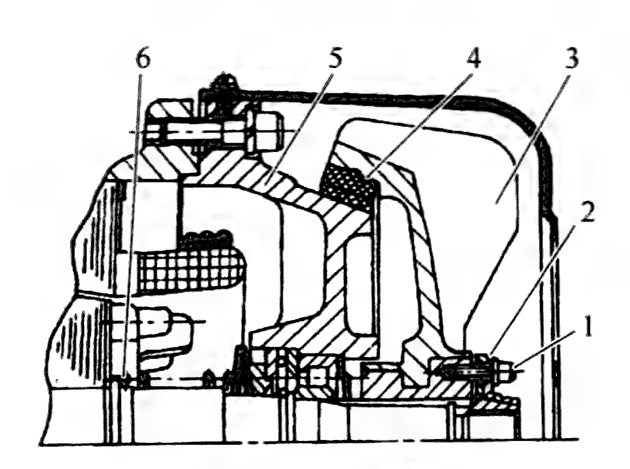


图 4-22 YEZ 系列锥形转子电动机制动器结构

1—螺钉；2—销紧螺母；3—风扇制动轮；4—制动环；5—后端盖；6—制动弹簧

若发现制动环上有油污等，应卸下风扇制动并进行清理后再复位。

4.4.6 装配制动弹簧的专用工具和使用方法

装配制动弹簧的专用工具如图 4-23 所示。用它可使制动弹簧装配工作更顺利，并可省时省力。其使用方法如下：

(1) 将制动弹簧 1、蝶形弹簧 2(有些品种已不用)、支承架 3 套入转轴内，再将轴用挡圈 4 套入导向套 5 上。

(2) 将压紧套 6 套入转轴，并压在支承圈 3 上。

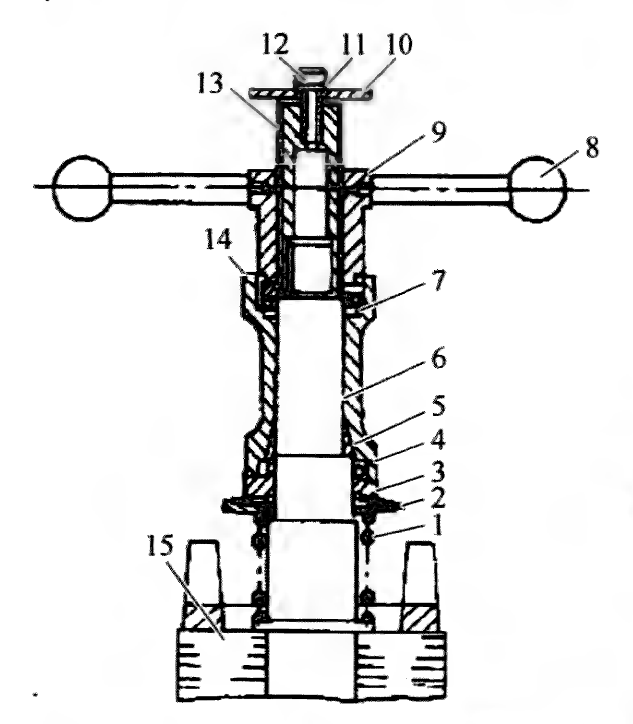


图 4-23 装配制动弹簧专用工具及装配示意图

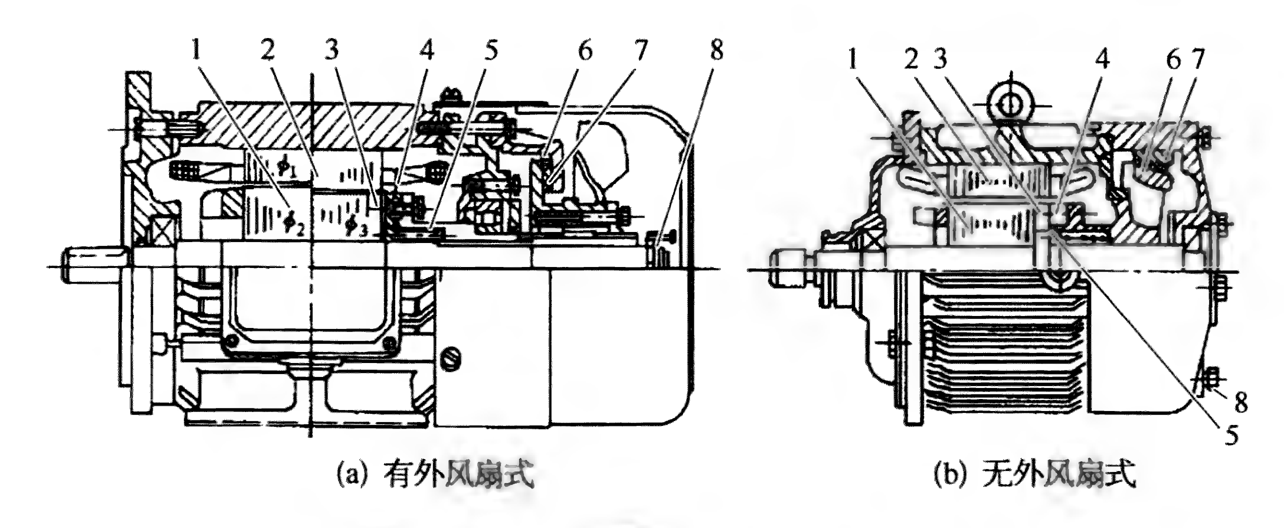
1—制动弹簧；2—蝶形弹簧；3—支承圈；4—挡圈；5—导向套；6—压紧套；7—平面轴承；8—手柄；9—推进套；10—压板；11—弹簧垫圈；12—内六角螺母；13—导向螺杆；14—挡圈；15—转子

(3) 将推进套9、导向螺杆13一起套入转轴的螺钉上，随后拧紧；使导向螺杆与螺钉固定。此时，继续转动手柄8，推进套9沿导向螺杆随之向前，借助平面轴承7将压紧套6和制动弹簧预压，于是挡圈4将沿导向套5滑入机轴槽内。

4.5 旁磁式自制动异步电机

1. 结构

旁磁式自制动异步电动机有多种结构，图4-24给出了一种外形和两种结构图，其中图4-24c有外风扇及风罩，图4-24b则无外风扇，但有内风扇；两者所用制动部分的形状和角度也有所不同。



(a) 有外风扇式　　(b) 无外风扇式

图4-24 YEP旁磁制动异步电动机结构

1—转子；2—定子；3—分磁铁；4—衔铁；5—弹簧；
6—动制动环；7—静制动端盘(可调)；8—调节装置(螺钉)

从图4-24中可看出，这种电机的定子结构和普通电机是完全相同的，转子结构则有所不同。

转子的特点体现在两个方面，一是在非轴伸端(风扇端)装有分磁铁及衔铁等制动机构，二是其铁心可能略短于定子铁心，如图4-24b所示。

制动机构的衔铁、制动环及弹簧可在轴的花键部分轴向移动。静制动盘安装在端盖或外壳(机座)上，它的轴向位置可以通过调节装置进行少量调整。

分磁铁是该制动机构中的关键部件，其结构大多制成内圈一个整体的圆环，径向开口，外圈分成若干相等的扇形块，块数越多，吸力越大。一

般为 12～16 块。

2. 工作原理

当定子通电产生旋转磁场时，它在转子分磁铁中产生一个轴向磁吸力，吸引衔铁向转子铁心方向移动，从而压缩弹簧并带动制动环离开静止的制动端盘，使转子脱离制动状态，开始运转。

定子断电后，分磁铁的磁吸力也消失，制动机构（可动部分）在弹簧力的作用下向转子铁心的反方向移动并与静制动端盘接触产生制动转矩，将转子制动停转。

4.6 外加电磁式制动器电机

1. 结构和工作原理

图 4－25 所示为 YEJ 系列外加电磁制动器的电动机结构。它由一台普通三相异步电动机配一个电磁制动器组成，制动器安装在非工作轴伸端，其励磁电流一般为直流电，根据不同的控制要求，可由单独直流电源供给或从电机接线端引入交流电通过整流后供给。在不加电的情况下，利用制动器的弹簧力对电机转子制动；励磁线圈通电后，由电磁力将制动盘与固定在转子轴上的摩擦片脱开，消除制动状态。称为断电制动。

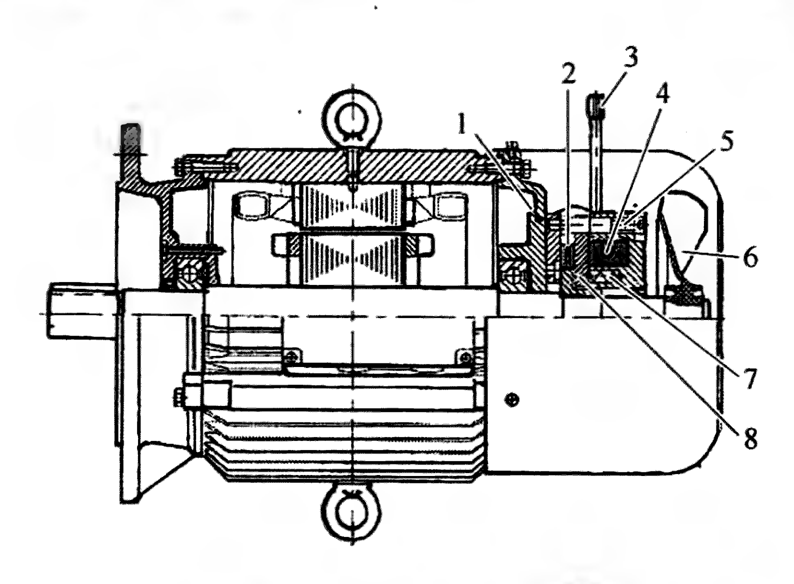
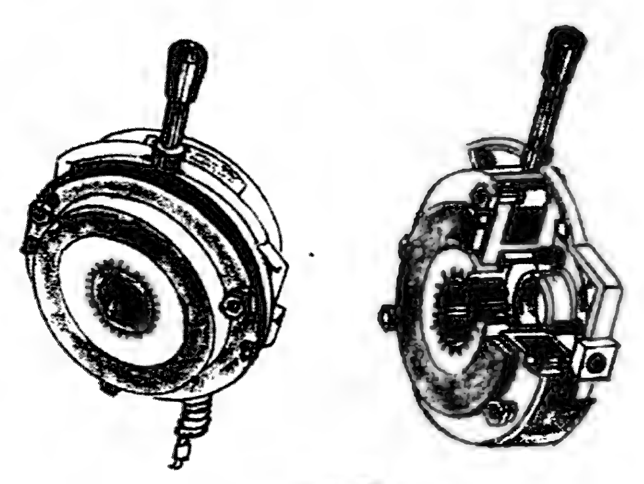


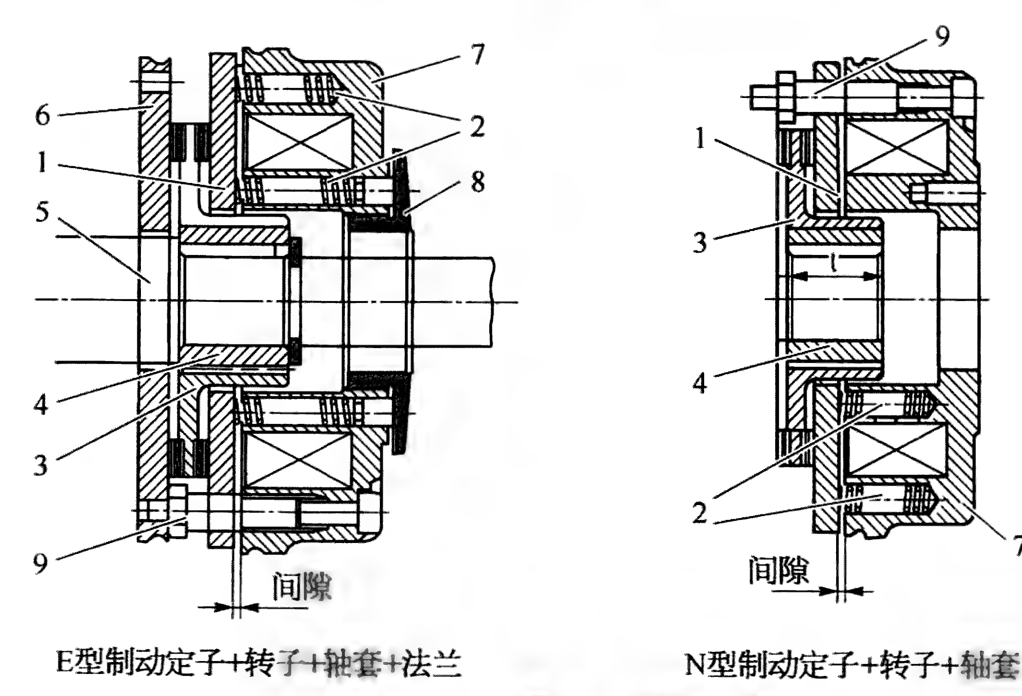
图 4－25 YEJ 系列外加电磁制动器电动机

1—端盖；2—动、静制动盘；3—释放杆；4—励磁线圈；
5—安装螺栓；6—外风扇；7—制动弹簧；8—衔铁

图 4－26a 所示是一种电磁制动器的外形和局部剖面结构；图 4－26b 所示是 BFK4588 型电磁制动器的内部结构，通过调节螺母 8 调节间隙的



(a) 一种类型的制动器及其结构剖面



E型制动定子+转子+轴套+法兰　　N型制动定子+转子+轴套

(b) BFK4588型弹簧加压电磁制动器结构

图 4－26　YEJ 系列外加电磁制动电动机用制动器

1—衔铁盘；2—弹簧；3—转子；4—轴套；5—轴；
6—法兰；7—定子；8—调节螺母；9—调节螺管

大小，从而调节制动转矩的大小和制动时间的长短。

2. 对制动器的技术要求

在该类电动机的技术条件中，对制动器提出了两条技术要求，一是电机空载制动时间，即电机空载运行时，从断电(对由电机电源供电的制动器而言)瞬间至电机全部制动停转时为止所用的时间；二是静制动转矩，即电机处于制动状态时，使电机转子刚刚能够转动时所加的转矩。表 4－5 为 YEJ 系列电机技术条件中给出的这两项指标限值，其静制动转矩为最小限值，制动时间为最长限值。

表 4-5 YEJ 系列电动机制动转矩及制动时间限值

电机中心高(mm)	80	90	100	112	132	160	180	200	225
静制动转矩(N·m)	7.5	15	30	40	75	150	220	300	450
空载制动时间(s)	0.15	0.17	0.22	0.25	0.27	0.35	0.60	0.70	0.80

3. 断电制动型制动器的常见故障和维修方法

断电制动型制动器的常见故障及维修方法见表 4-6。

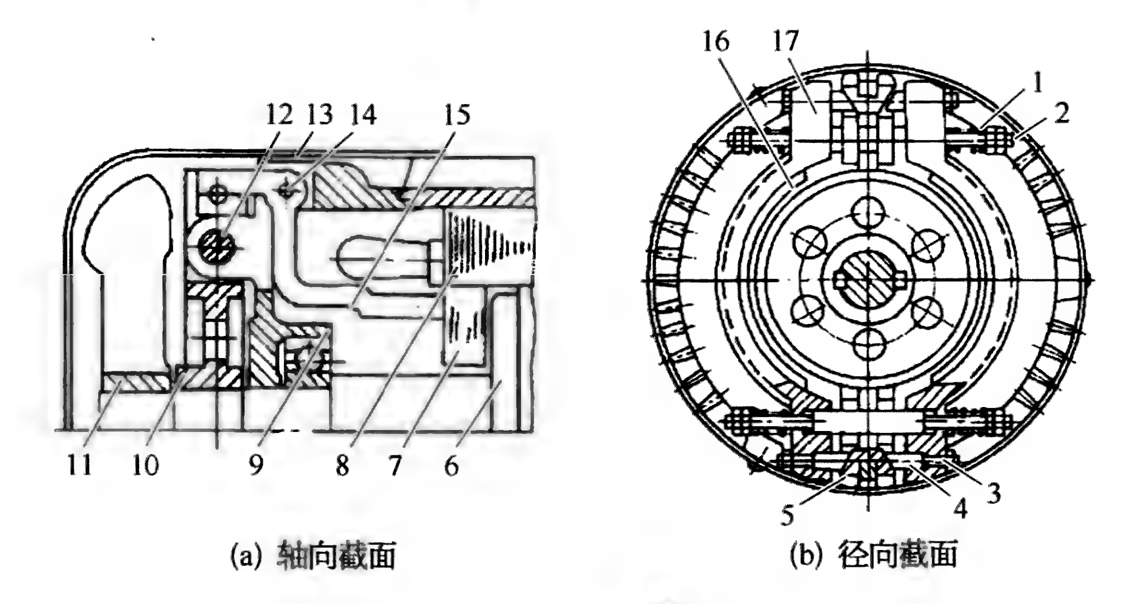
表 4-6 断电制动型制动器常见故障及维修方法

故障现象	可 能 原 因	处 理 方 法
1. 电机通电后制动器不释放	(1) 制动器电源引线断开或其内部有断路现象 (2) 励磁线圈断路 (3) 二极管烧毁后断路(直流励磁型) (4) 制动器内机械卡死	(1) 目测或用万用表检查断路点后修复 (2) 修理或更换励磁线圈 (3) 用万用表检查,更换损坏的二极管 (4) 拆开制动器后排除
2. 电机断电后不制动	(1) 制动器内机械卡死 (2) 制动弹簧折断 (3) 释放杆没有旋回原制动位置	(1) 拆开制动器后排除 (2) 换新弹簧 (3) 将释放杆旋回到原制动位置
3. 制动时间过长	(1) 制动摩擦片严重磨损 (2) 制动弹簧压力小 (3) 摩擦片与衔铁之间间隙过大	(1) 换新摩擦片 (2) 更换符合要求的弹簧 (3) 重新调节间隙
4. 通电后仍有一定制动转矩	(1) 电源电压过低使电磁铁磁力不足,未将衔铁完全吸合 (2) 励磁线圈有匝间或对地短路,使磁力减少 (3) 摩擦片与衔铁之间间隙过小 (4) 摩擦片松脱,使其在制动器内无定位 (5) 制动弹簧压力过大 (6) 制动器内有异物	(1) 检查并调高电压 (2) 检查励磁线圈后修理或更换 (3) 重新调整间隙 (4) 重新安装 (5) 更换压力适当的弹簧 (6) 拆开后取出

4.7 杠杆式自制动电机

杠杆式自制动电机的制动结构如图 4-27 所示。制动装置安装在电机非轴伸端的端盖上,它由制动轮和抱闸组成。制动轮和轴装在一起,抱

闸装在端盖上，其夹紧力由弹簧产生。



(a) 轴向截面 (b) 径向截面

图 4-27 杠杆式自制动电机

1—弹簧；2—调节螺母；3—调节螺钉；4—调节块；5—斜面滑块；6—转子；7—弧形衔铁；8—定子；9—端盖；10—制动轮；11—风扇；12—制动轴；13—风罩；14—杠杆轴；15—杠杆；16—摩擦带；17—抱闸

电机的定子铁心比转子铁心稍长，在定子长出的部分内圆处，装有若干个半圆弧形衔铁。定子通电后，产生旋转磁场，同时也吸引衔铁到定子铁心上。衔铁向上移动，通过杠杆推动斜面滑块克服弹簧的作用力，将抱闸撑开，电动机开始转动。

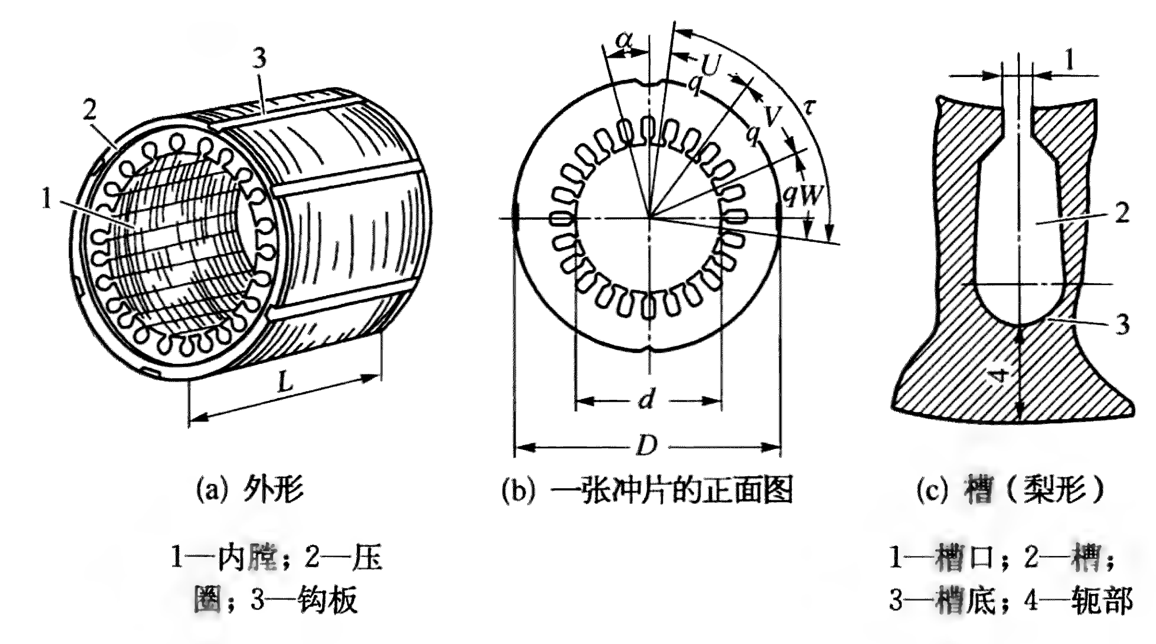
定子断电后，吸力消失，斜面滑块在弹簧压力下滑出，抱闸夹住制动轮，使电动机停转。

5 定子绕组的拆除和制作方法

5.1 定子铁心和绕组简介

5.1.1 定子铁心的结构、有关术语及参数

定子铁心采用0.5 mm厚的硅钢片叠压而成，外形如图5－1a所示。其压板与压圈（有些小容量电机无压圈）是为保持铁心压紧状态而设置的。其冲片、槽形分别如图5－1b和图5－1c所示（槽数为24）。定子铁心有关的术语及参数如下：



(a) 外形

1—内膛；2—压圈；3—钩板

(b) 一张冲片的正面图

(c) 槽（梨形）

1—槽口；2—槽；3—槽底；4—轭部

图5－1 三相交流电动机定子铁心

(1) 有效长度L（去掉两端压圈后的长度）、内径（俗称内膛）d、外径D和槽数Z_1。

(2) 一个槽各部位的名称如图5－1c所示。

(3) 几个看似无形的数据，即极距、相带（每极每相槽数）、每个槽距的电角度等。这些数据除与定子本身的槽数Z_1有关外，还与设计极数（常用极对数p来表示，即极数的1/2）有关。

① 极距。电机的极数（$2p$）确定后，其一个磁极所占有的定子槽数，称为极距，用字母τ（槽）来表示，则

$$\tau = \frac{Z_1}{p} \tag{5-1}$$

对于图 5-1a，当电机设计为 2 极时($p=1$)，$\tau=24/(2\times1)=12$ 槽；设计为 4 极时，$\tau=24/(2\times2)=6$ 槽，如图 5-1b 所示。

② 相带。每个极距内都会按顺序排列三相绕组，每一相绕组在 1 个极距内所占有的距离(槽数)称为相带。由此可见，相带就是每极每相槽数，用符号 q (槽)表示，即

$$q = \frac{\tau}{3} = \frac{Z_1}{3\times 2p} = \frac{Z_1}{6p} \tag{5-2}$$

当 $Z_1=24$ 槽，$p=2$(4 极)时，$q=24/(6\times2)=2$ 槽，如图 5-1b 所示。

③ 每个槽距的电角度。一对磁极所占铁心圆弧的长度，用电角度表示时为 360°。由此可知，一个定子内圆究竟是多少电角度，是由该电机的设计极数所决定的。即为 $p\times360°$。2 极电机为 $1\times360°=360°$，4 极电机为 $2\times360°=720°$，…。每个槽距(也说成每个槽)所占的电角度数用 α 来表示，则

$$\alpha = 360°\frac{p}{Z_1} \tag{5-3}$$

图 5-1b 中，$\alpha=360°\times(2/24)=30°$。

5.1.2 定子绕组常用的型式、有关术语及参数

中小型交流异步电动机定子绕组的主要术语及参数有：

1. 绕组的型式

按绕组排列方式分，常用三相定子绕组型式有双层迭式、单层同心式、单层链式、单层交叉链式等，见表 5-1。另外还有单双层等。

2. 有关定义及参数

(1) 极相组。在一个磁极下属于一相的线圈总和称为一个极相组。如表 5-1 图 1 中 U 相的 1、2、3 号线圈和表 5-1 图 2 中 U 相的 1、2 号线圈等。

(2) 节距。这个定义是针对一个线圈而言的。是指一个线圈两条直线边之间用槽数来表示的距离。有的用两条直线边所占槽号来表示，如表 5-1 图 2 中，大线圈的节距 $y_1=1—8$，小线圈的节距 $y_2=2—7$；有的用

表 5－1 常用三相绕组型式的定义和排列图

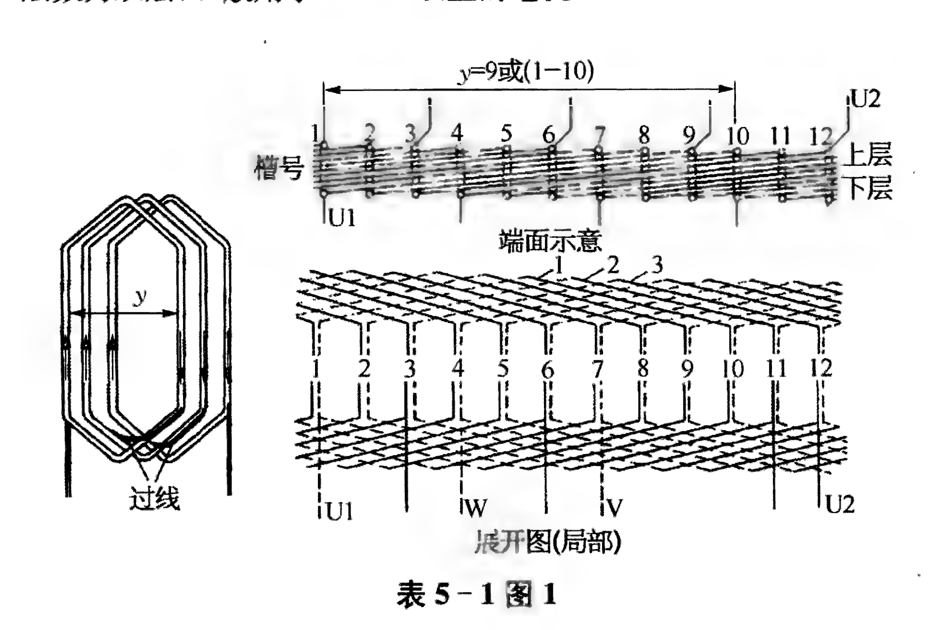
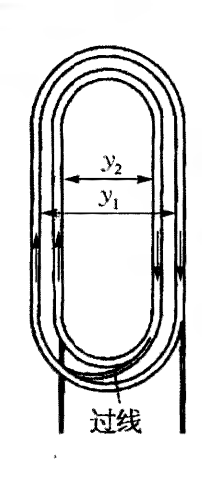
<table>
<tr><th>名 称</th><th>说明，一组或一相线圈及展开排列图</th></tr>
<tr><td>双层迭式</td><td>嵌入定子铁心槽中以后，所有线圈按顺序相叠（迭）的姿势排列（形如倒下的多米诺骨牌），故称之为叠（迭）式。这种型式中所有线圈的各样参数都相同
层数为双层，一般用于 10 kW 以上的电机


表 5－1 图 1</td></tr>
<tr><td>单层同心式</td><td>在一对极下，一相绕组由 2 个及以上大小不同、节距依次相差 2 个槽的线圈组成，各线圈共为一个轴线，故称同心式
这种线圈经常绕制成由内至外按正弦规律变化的匝数，称为正弦绕组


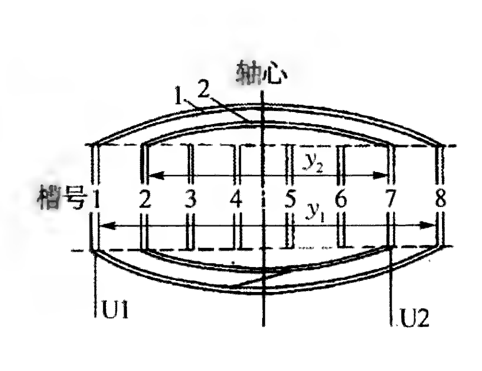
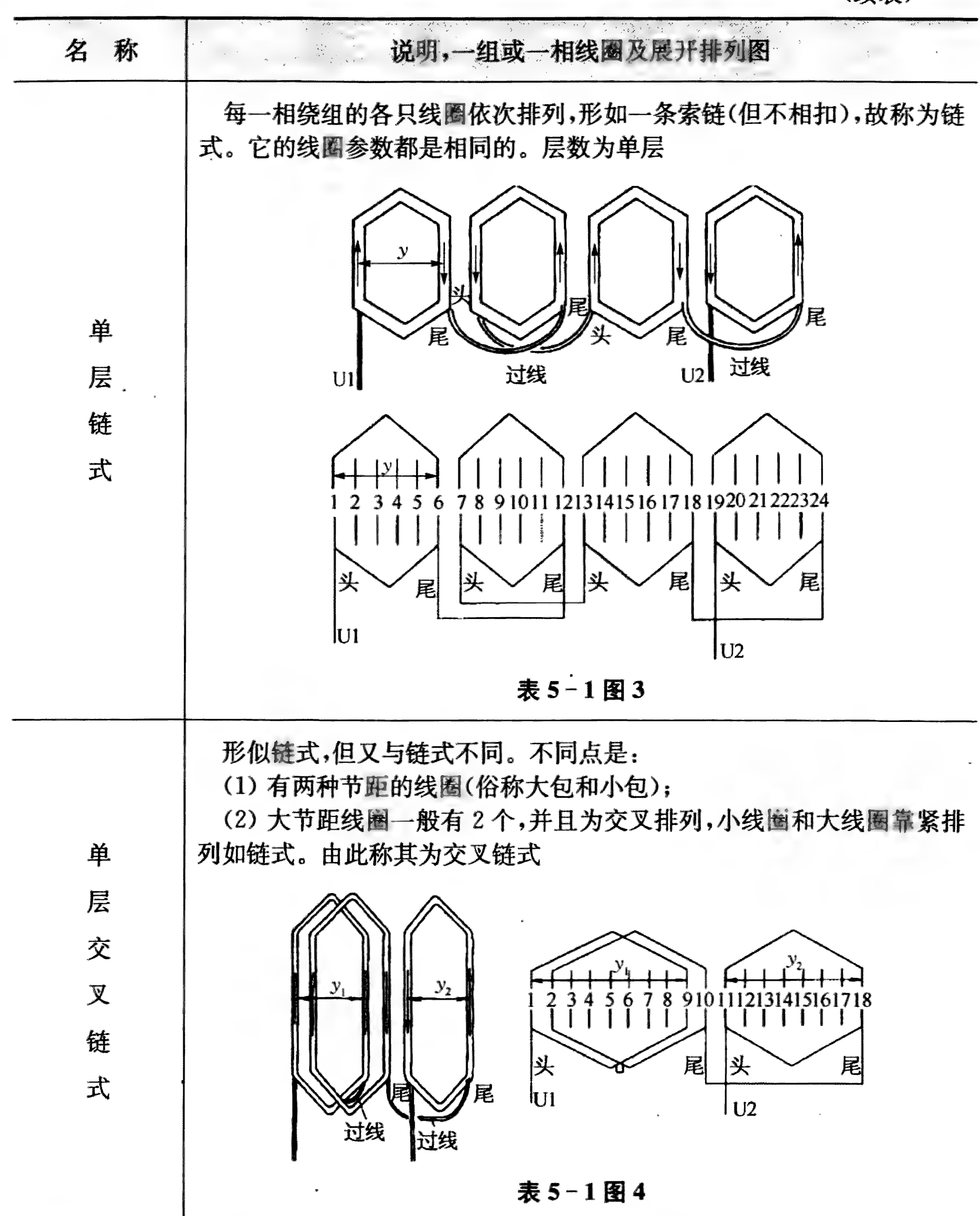


表 5－1 图 2</td></tr>
</table>

（续表）



名 称	说明，一组或一相线圈及展开排列图
单层链式	每一相绕组的各只线圈依次排列，形如一条索链（但不相扣），故称为链式。它的线圈参数都是相同的。层数为单层 表 5－1 图 3
单层交叉链式	形似链式，但又与链式不同。不同点是： （1）有两种节距的线圈（俗称大包和小包）； （2）大节距线圈一般有 2 个，并且为交叉排列，小线圈和大线圈靠紧排列如链式。由此称其为交叉链式 表 5－1 图 4

两个直线边相距的槽数（从一条边相邻的那个槽开始数到另一条边所在的槽）来表示，如前例，$y_1=7$，$y_2=5$。节距可分为长距、等距和短距 3 种，分别是按长于极距、等于极距和短于极距而命名的，如图 5－2a 所示，其中短距用得较多。

（3）线圈的头和尾。如图 5－2b 所示，一个线圈有两个出线端，其中一个称为“头”，另一个称为“尾”。头、尾确定的方法是：在一相绕组中，

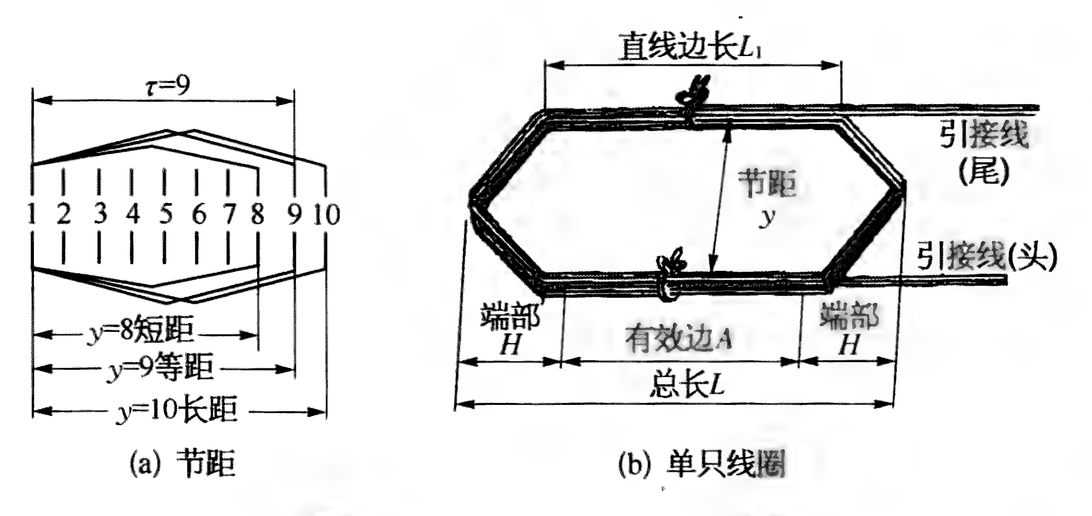


图 5-2 线圈的节距(长、等、短距)和单只线圈各部位名称

以 U 相为例,与电源相接的引接线标为 U1,该线端则称为这一个线圈的"头"。U 相其他线圈若按同样的绕向并依次排开的话,则与 U1 端同侧的都为"头",自然另一端均为"尾",如表 5-1 图 3 所示。确定线圈的头和尾是一相连线时所必需的内容。

(4) 单只线圈的直线边长和有效边长。线圈直线边的总长度称为直线边长;处于铁心槽内部分的长度,称为有效长度,也就是铁心长度,如图 5-2b 所示。

(5) 端部和端部长。一个线圈除有效边以外的两端称为端部,它主要是起连接两条直线边电路的作用,但由它产生的漏电抗对电机的起动、过载性能还起着不可忽视的作用。所以不能随意改大或改小;端部长指端部顶点到有效边端点之间的垂直距离。如图 5-2b 所示。

(6) 匝数、每匝股数、线径等。匝数是指单只线圈绕行导线的圈数;每匝股数是一匝线包含的导线根数,每根的线径可以相同也可以不相同;线径则是每根导线的直径。

(7) 绕组展开图。绕组展开图是设想在两个槽之间将嵌好线的定子轴向切开并将定子展平后,所看到的各相绕组位置及走向图。

5.2 绕组拆除方法

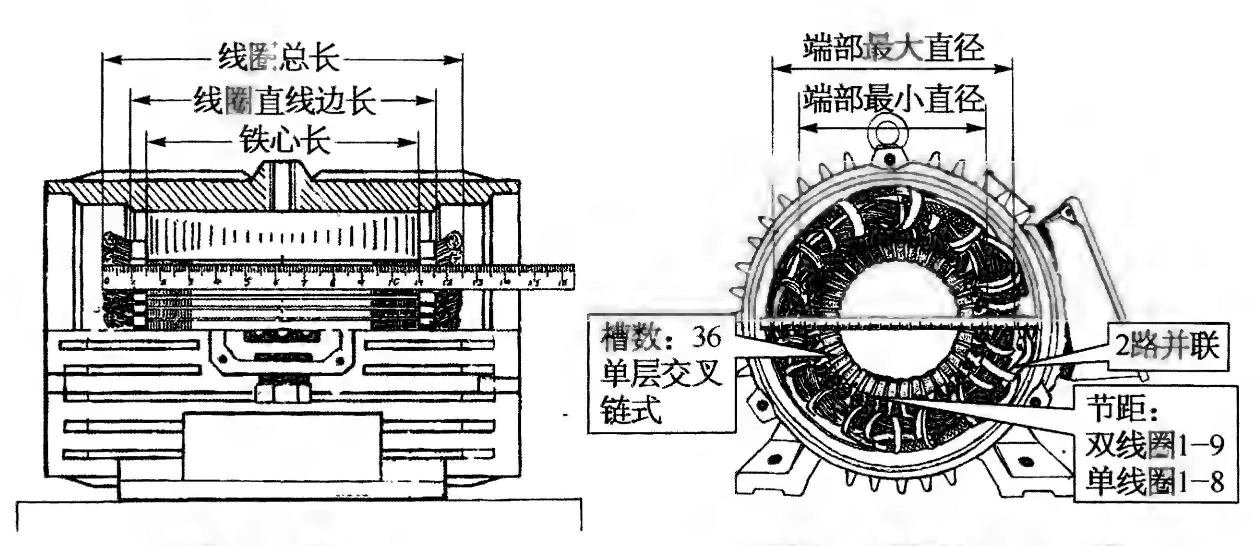
5.2.1 拆除绕组前后应做的工作

不论是部分还是全部拆除绕组,在拆除前、后,都要通过观察和测量记录如表 5-2 所列出的原电动机定子的有关数据(可参考图 5-3),以便

在加工替代品时使用或比对。有些数据可能会因损坏而无法测得(例如被全部烧毁的绕组直流电阻)。在记录某些项目时,可能还需要一些标记进行配合,例如引出线(槽)的位置。

表 5-2 三相异步电动机检修重绕需记录的数据

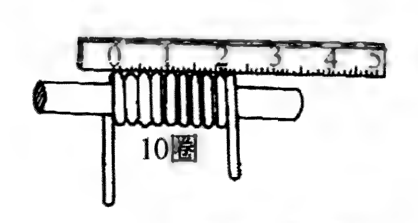
部件名称	需记录的数据(mm)		
铁心	轴向长度：	内圆直径：	槽数：
绕组	型式：	节距(槽)：① ______ ② ______ ③ ______	
	直线长度：	端部轴向长度：① ______ ② ______ ③ ______	
	支路数：	每匝导线根数和线径：① ______ ×Φ ______, ______×Φ ______;② ______×Φ ______, ______×Φ ______; ③ ______ ×Φ ______, ______ ×Φ ______	
	匝数：① ______ ② ______ ③ ______		
	端部外圆最大直径：		
	端部内圆最小直径：		
	直流电阻(相)/Ω：U— ,V— ,W— 温度： ℃		
引出线	出线位置(槽号)：U1— ,V1— ,W1— ,U2— ,V2— ,W2—		
	牌号：	规格;① (截面积或直径)— ;② 电压等级— V	
绝缘材料	引接管：	相间绝缘：	
	槽绝缘：	层间绝缘：	
其他			



(a) 测量绕组的轴向长度尺寸

(b) 测量绕组的端部径向尺寸、槽数、绕组型式、节距、出线位置等


(c) 用外径千分尺测量线径



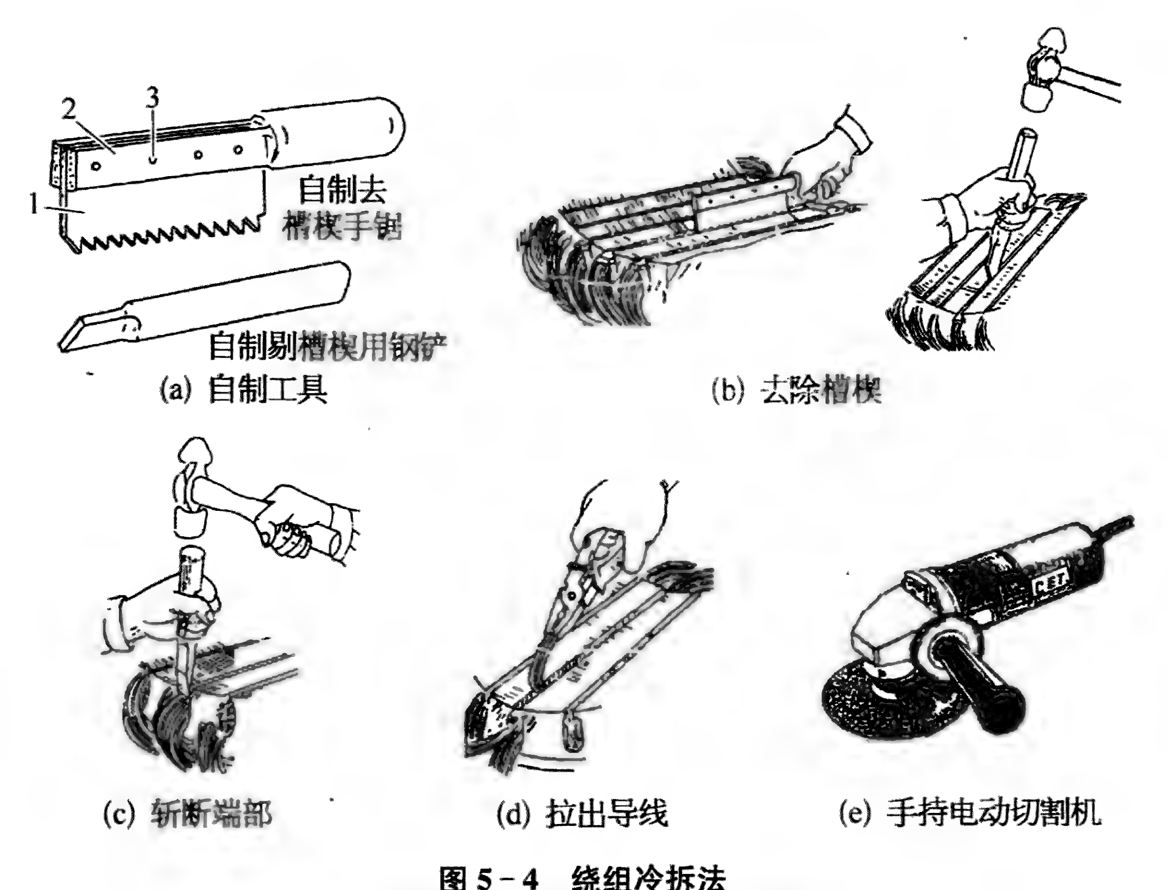
(d) 用直尺粗略测量线径

图 5-3 拆除绕组前后应纪录的项目示意图

5.2.2 绕组的冷拆法

实际上,对于整体浸漆的散嵌绕组,一旦出现必须拆除的故障时,不论是坏了一相还是只坏了一相的部分绕组,一般都必须全部拆除。这是因为,经整体浸漆后,所有绕组都粘在了一起,很难单独分开而不造成相邻绕组的破坏。

利用图 5-4a 所示的自制工具将要拆出的绕组所在槽的槽楔去除,然后用钢铲切下要拆除绕组的一端,再用钳子夹住导线并将其拉出槽。分别如图 5-4b、c 和 d 所示。对较小的电动机,可用如图 5-4e 所示的手



(a) 自制工具　(b) 去除槽楔
(c) 斩断端部　(d) 拉出导线　(e) 手持电动切割机

图 5-4 绕组冷拆法

1—钢锯条;2—硬木或尼龙板;3—铆钉

持电动轮盘切割机将两端全部切掉后，将铁心竖直安放，用略小于槽截面的钢棒将在槽内的线匝冲出。

5.2.3 绕组的热拆法

1. 火烧法

火烧法是一种个体修理单位较常用的传统方法。其优点是省时省力；不足之处是会造成一定的空气污染，另外，烧过后的铁心性能会下降。所以应控制使用。

具体做法是：将定子架起，在其下和内膛中放适量木材，从下部点火。待绕组被引燃后，可撤出部分或全部木材。待绕组自燃的火焰熄灭并放凉后(严禁用水浇冷却)，能很方便地将导线拉出。

2. 通电加热法

给绕组通电，使其过热后烧毁绝缘，然后将导线拉出。通电前，若将槽楔先去除，则拆导线时会更容易些。这种方法较费时并耗用很多电能，并且不能用于已烧毁的绕组，但对空气污染和对铁心性能的损失都较小。具体做法如下：

(1) 当采用三相交流电时，对于 380 V、△接的电机，可改为Y接通 380 V 交流电，或通过调压器、变压器提供 50%左右的额定电压。应尽可能使电流在 3～5 倍额定电流之间，若过大，则应间断加电。

(2) 若用单相交流电，则可将三相绕组接成并联或串联。如有条件，应采用电焊机或类似的电源供电。待绕组发热并冒烟时，适当降低电压(可能时)，再过适当时间(几分钟之内)后，停止供电。如图 5－5 所示。

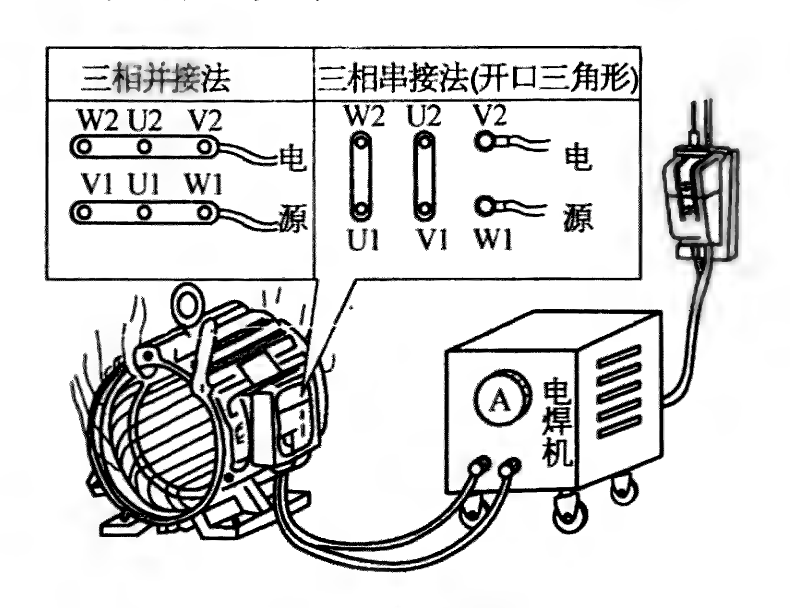


图 5－5 绕组热拆法

(3) 当采用直流电源时，一般将三相接成开口三角形。采用调节电压或串接电阻的方法调节输入电流。

3. 烘烤法

将电机放入电烘箱中，温度控制在180～220℃，待绝缘软化或焦化后取出，再用适当的方法拆除绕组。

4. 其他加热方法

常用的还有采用火炉、喷灯、气焊等加热方法。但都应注意加热温度不宜过高，最好不要让电机的温度超过200℃，以防铁心性能过多地下降和机座烧裂。

5. 溶剂浸泡溶解法

(1) 事先拆下接线盒、接线板等附件，将槽楔清除，并尽可能多地去除端部绑扎带等。铝壳电机不能用此方法。

(2) 在浸泡箱中放入适量(以没过绕组为准)的浓度为10%的烧碱(氢氧化钠NaOH)水溶液(即溶剂)。可设置加热装置，给溶剂加热，这样会提高工作效率。

(3) 将电机浸泡在溶剂箱中，至绝缘漆软化后拿出，立即用清水冲洗掉残余的溶剂。

(4) 用工具将导线拆除后，再次用清水冲洗。

5.2.4 成型定转子绕组的拆除方法

对交流电机的绕线转子成型绕组(硬绕组)，其两端具有绑扎带。无论是全部还是局部拆除绕组，一般都要先拆下两端全部绑扎带。可用手锯将绑扎带锯开几个口子，然后将其剥下。

在拆除绕组之前，要记录引出线及封零线所在槽的位置、跳层线所在槽的位置(如有时)、节距值(注意两端出线者有两个节距)、半支线圈的各部位长度等有关数据。

拆下线棒的步骤及方法如下：

(1) 拆下并头套和引接线。根据要拆除线圈的具体情况，拆下相关的并头套和引接线。拆除时，可用大功率电烙铁加热或用气焊、喷灯火焰加热，使并头套内的锡熔化，再用榔头敲击，使其退下。

(2) 给线棒加热。当只需拆下少数绕组线棒时，可先从一端从槽口处切断，再通入一个低电压大电流给其加热，至槽内绝缘软化。当需拆除全部绕组时，可采用电炉烘烤等方法进行加热。

(3) 剔除槽楔，乘热拉出线棒。

(4) 线棒退火。将拉出的有用线棒尽快投入水中，使其退火。否则，线棒会变硬而不利于再次使用(扳弯处易折裂)。

5.3 绕线模制作方法

5.3.1 常用绕线模的类型

绕线模是绕制线圈的必备工具，其尺寸应严格符合预定值。根据修理工作的需要，可简可繁，可多可少。

1. 最简单的绕线模

如图 5－6 所示。将 6 个螺钉(也可用普通圆钉)分别安装在预绕线圈的 6 个折点上；绕制时，6 个螺钉的头都朝外(背向线圈)；绕够匝数后，先用小绳将线圈绑扎几道，再将相邻的 3 个螺钉转动一定角度，起出线圈。

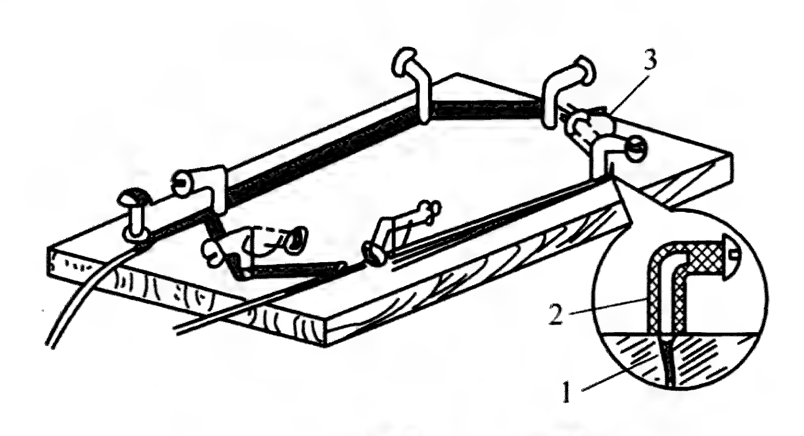


图 5－6 最简单的绕线模

1—螺钉；2—塑料管；3—拆下线圈时

2. 可调式绕线模

图 5－7 所示为 3 种可调式绕线模，其中图 a 只能调整线圈的长度尺寸，当然其端部尺寸可采用更换两端模板的方法来调节；图 b 和图 c 的所有尺寸都可调，由此也称其为万能式。这些器具现已有专业厂生产，但还有很多是根据所承担的业务情况自制的。

3. 永久性固定尺寸单个绕线模

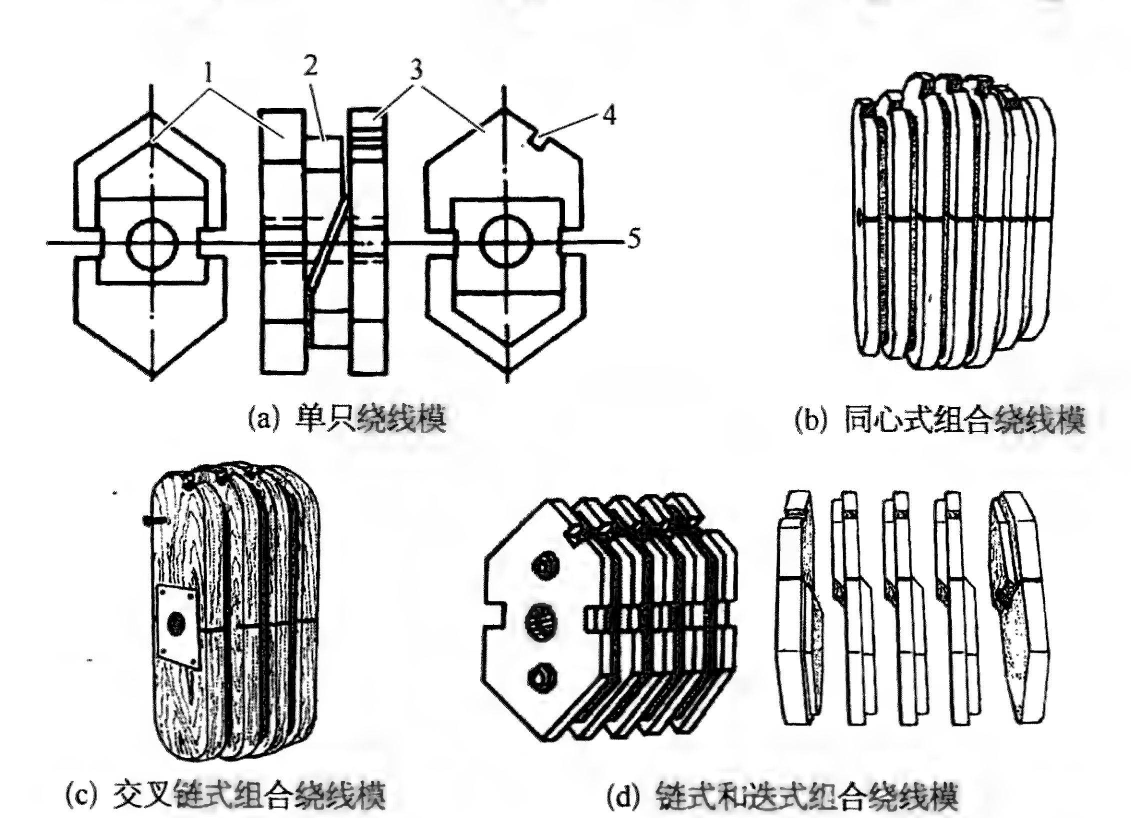
图 5－8a 为永久性固定尺寸单个绕线模分解图；图 5－8b 为迭式绕组绕线模组。它们一般采用木料制作，尺寸固定，使用期限较长。

(a) 长度可调式绕线模　(b) 底板万能绕线模　(c) 金属骨架万能绕线模

(d) 塑料成型绕线模部件

图 5－7　可调式绕线模

1—左右纹螺杆一；2—菱端线轮；3—滑轨；4—线轮架；5—左右纹螺杆二；6—底盘



(a) 单只绕线模　(b) 同心式组合绕线模

(c) 交叉链式组合绕线模　(d) 链式和迭式组合绕线模

图 5－8　固定尺寸绕线模示例

1—下夹板；2—模芯；3—上夹板；4—引线槽；5—扎线槽

5.3.2 确定绕线模尺寸的方法

图 5－9a～d 为 4 种不同绕组型式的绕线模形状及尺寸符号标注图。其各部位的尺寸设计方法见表 5－3。模芯厚度与夹板尺寸见图 5－9e 和 f。

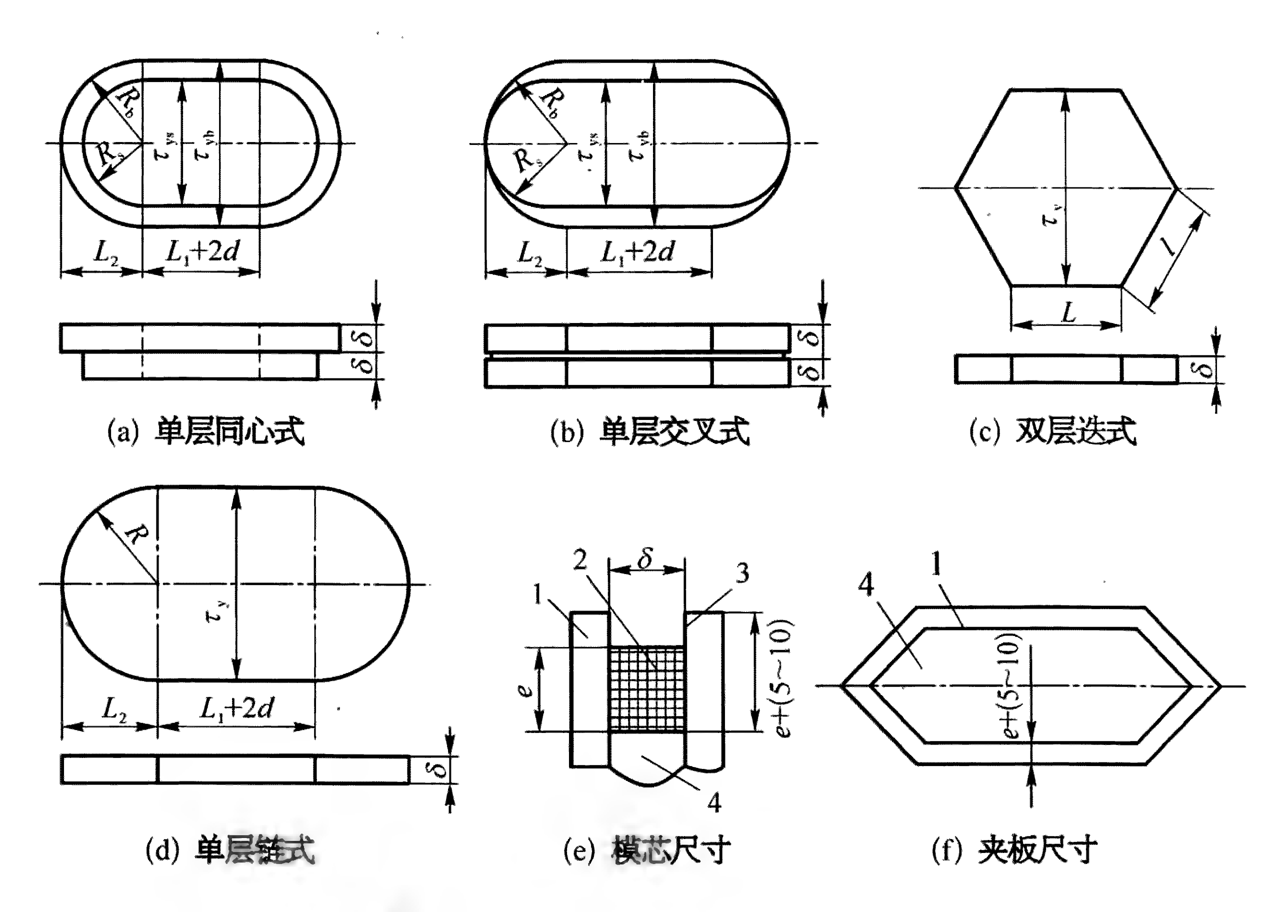


图 5－9 常用类型绕线模形状及尺寸

1、3—夹板；2—模芯端部；4—模芯

模芯厚度 δ 计算公式为

$$\delta = 1.1nd_{\mathrm{i}} \tag{5-4}$$

式中 n——每层导线匝数，可根据一个线圈的总匝数按宽：厚＝1∶1 的比例估算；

d_{i}——单匝绝缘导线外径(mm)；

δ——模芯厚度，功率较小的电机在 8～10 mm 中选用，功率较大的电机在 10～15 mm 中选用。

夹板的尺寸应按每边比模芯长度大出 e ＋(5～10)来确定，其中线圈厚度 e 用下式计算：

$$e=\frac{N\pi d_i}{4.4n} \tag{5-5}$$

式中 N——线圈匝数；

n——每层导线匝数；

d_i——每匝导线外径(mm)。

表 5-3 绕线模尺寸设计表 (mm)

型 式	计算公式或经验数据
单层同心式	大线圈模芯宽度 $\tau_{yb}=\pi(D+2h_s)(y_b-x_b)/Z$ 小线圈模芯宽度 $\tau_{ys}=\pi(D+2h_s)(y_s-x_s)/Z$ 式中 y_b、y_s——以槽数表示的大、小线圈节距； x_b、x_s——经验数据，见表 5-4； D、h_s、Z——分别为定子内径、槽深、槽数
	模芯直线长度 $L=l+2d$ 式中 l——定子铁心长度，如果铁心槽齿散张严重，应从口处测量(mm)； d——线圈直线边伸出槽口单边长度，通常取 10～20 mm，功率大、极数少的电机取大值
	端部模芯圆弧半径 $R_b=0.5\tau_{yb}$ $R_s=0.5\tau_{ys}$
单层交叉式	模芯宽度 τ_y，模芯直线部分长 L，与单层同心式相同
	模芯端部圆弧半径 $R_b=\tau_{yb}/t_b$ $R_s=\tau_{ys}/t_s$ 式中 t_b、t_s——经验数据，见表 5-4
双层叠绕式	模芯宽度 $\tau_y=\frac{\pi(D+2h_s)}{Z}(y-x)$ 式中 x——经验数据，见表 5-5
	模芯直线部分长与单层同心式相同
	模芯端部圆弧半径 $R=\tau_y/t$ 式中 t——经验数据，见表 5-5
单层链式	模芯宽度 τ_y 与双层叠绕式相同
	模芯直线部分长 L 与单层同心式相同
	模芯端部圆弧半径 $R=\tau_y/t$ 式中 t——经验数据，见表 5-4

表 5-4 单层绕组经验数据 x 和 t 的取值范围

绕组型式		$x, x_b / x_s$			$t, t_b / t_s$
		2 极	4 极	6 极及以上	
单层链式		—	0.85	0.55	1.6
同心式	大线圈/小线圈	2.1/1.6	1.1/0.6	—	2
交叉式	大线圈/小线圈	2.1/1.85	1.1/0.85	—	1.8/1.9

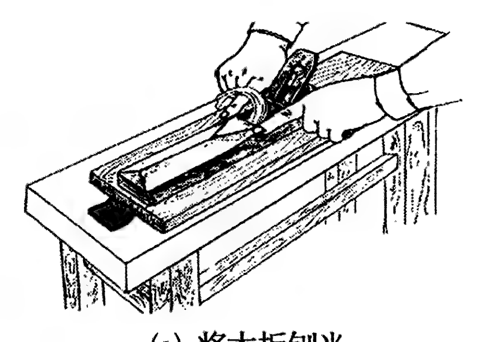
表 5-5 双层叠绕组经验数据 x、t 的取值范围

电机极数	2	4	6	8
x	1.5~2	0.5~0.75	0~0.25	0~0.2
t	1.49	1.53	1.58	1.58

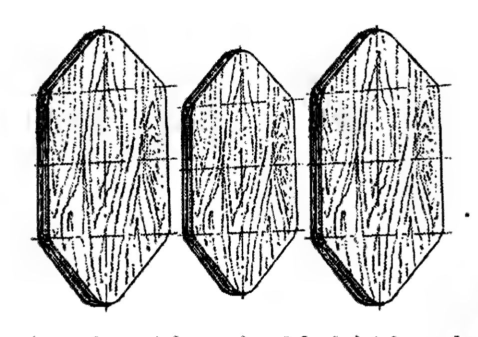
5.3.3 制作木质绕线模的方法

下述操作参见图 5-10。

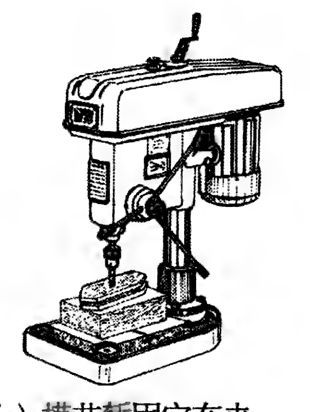
先准备好厚度合适的木板，两面刨光。然后，先按上述设计尺寸将木板加工出模芯和夹板。将模芯暂时固定在夹板上，用铅笔在夹板上画出



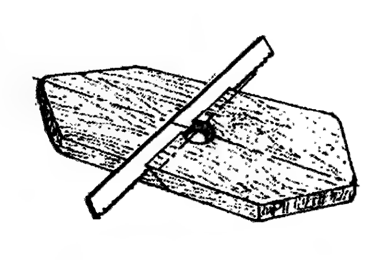
(a) 将木板刨光



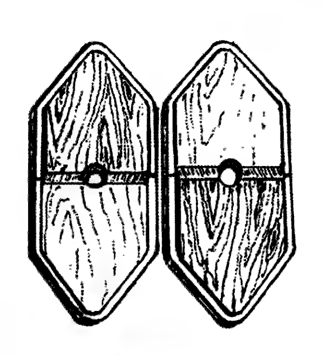
(b) 按设计尺寸加工出两个夹板和一个模芯



(c) 模芯暂固定在夹板上钻中心孔



(d) 将模芯锯开两半



(e) 将模芯固定在夹板上制成成品

图 5-10 制作木质绕线模的过程

模芯重合线。在中心处钻一个供穿绕线机轴的圆孔。从夹板上取下模芯，以模芯中孔为中心，在模芯上画一条横向倾斜线，沿此线将模芯锯开成两段。

按开始在夹板上画出的模芯重合线将上述锯开的模芯一上一下分别粘牢在两块夹板上。四周粘合后接缝处要密合，以防绕线时导线挤入缝隙中。最后，在夹板上开出一个引线口和几个扎线口。

对一个极相组有几个线圈的绕组，可将几个绕线模制成一组，这样绕制方便，并可直接过线，既节约了铜线，又可省去焊接以及焊接后的绝缘处理，同时也增加了线圈之间连接的可靠性。

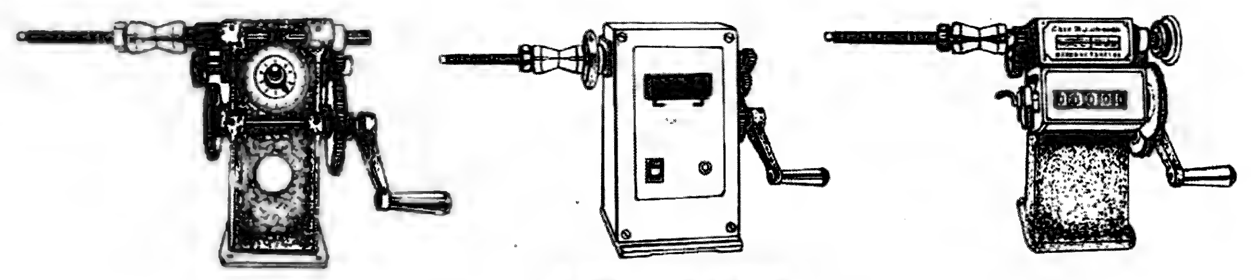
5.4 绕制线圈的工艺和质量检查

5.4.1 绕制方法和注意事项

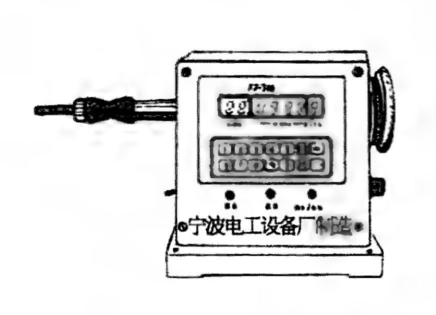
1. 绕制方法

首先根据所拆下的旧绕组所用电磁线的绝缘等级、绝缘厚度和材料、线径等，选用电磁线。除个别情况外，一般采用绕线机进行绕制。

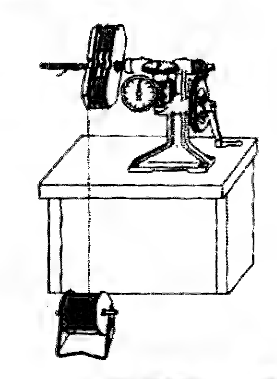
较小的线圈可采用手摇绕线机，如图 5－11 所示；较大的线圈或在有



(a) 手摇指针显示绕线机　(b) 手摇数显式绕线机　(c) 手摇、电动两用绕线机



(d) 电动数显自动绕线机



(e) 绕制电机线圈的示意图

图 5－11　手动绕线机和绕制线圈的示意图

一定规模的修理厂，则采用机动甚至自动的绕线机，图 5 - 12 中所用的就是一台由电动机带动、可调速和正反转控制的机动绕线机的工作示意图。下面讲述的绕线过程和注意事项将参照此图。

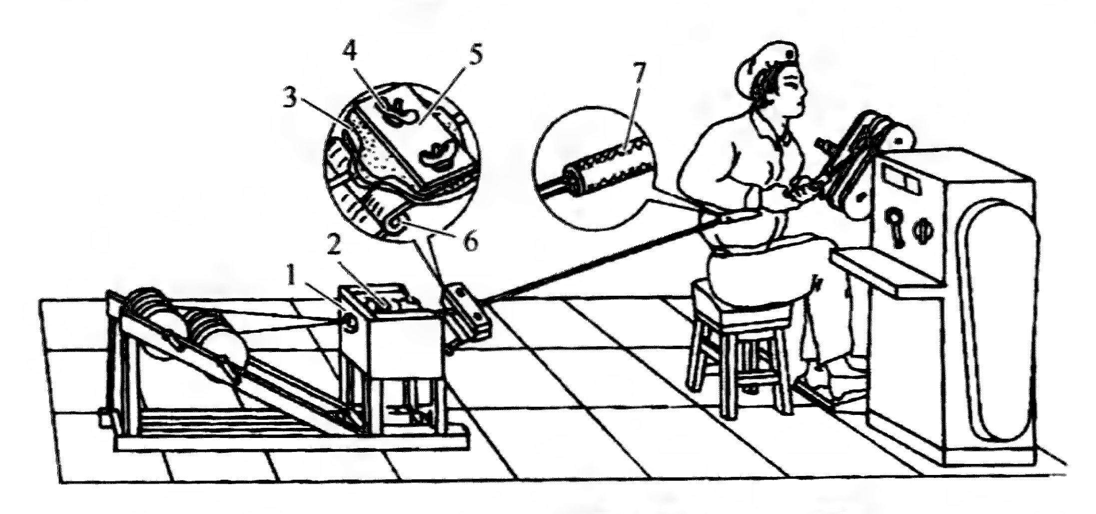


图 5 - 12 电动绕线机和绕制线圈的工作示意图

1—木箱；2—石蜡；3—毛毡；4—夹紧螺钉；5—夹板；6—合叶；7—塑料管

(1) 检查所用电磁线的直径，应符合要求。

(2) 将线轴放在专用支架上，尽可能使各股线处于一个竖直面内。

(3) 将电磁线穿过装着石蜡的木箱（导线通过石蜡后，其表面变得光滑，从而有利于嵌线，但在浸漆时若不预热，则导线表面的石蜡会影响漆的附着力。所以，是否采用此方法，要根据自己的处理工艺情况来决定），再通过一个毛毡夹（用于产生一定阻力。此夹应可上下活动，所以采用合叶安装）后穿过一根塑料管固定在绕线模固定线端的装置上（一般是一个钉子）。

(4) 检查计数器，不在零位时调到零位。

(5) 起动绕线机，由慢到快开始绕制。两手握住塑料套管，对导线施一定的力并尽可能地控制导线使其分层整齐排列。将要达到预定的圈数时，放慢速度。达到预定圈数后，停转。用线绳绑扎线圈。

(6) 若为多个线圈连绕，则通过绕线模的过线口将导线引入到下一个模芯中继续绕制。

(7) 绕完最后一个线圈时，留出足够长度后，将线剪断。卸下绕线模，拿出线圈并按顺序放好。若绕制多个规格的线圈时，应采用系纸扉子等方法注明线圈的规格或电机型号。

2. 线圈绕制过程中应注意的事项

(1) 绕制过程中，应对电磁线的直径及外观进行抽查，以避免中间的

不合格线绕入线圈中。

(2) 因一轴线用完需要换另一轴或中间发现不合格线段需剪断等原因,要在一个线圈的中间接线时,应将接点安排在线圈端部,一个线圈中的接头不应超过1个,每一相不应超过2个,如图5-13所示。

可采用对接熔焊或铰接锡焊(较小线径)的方式。

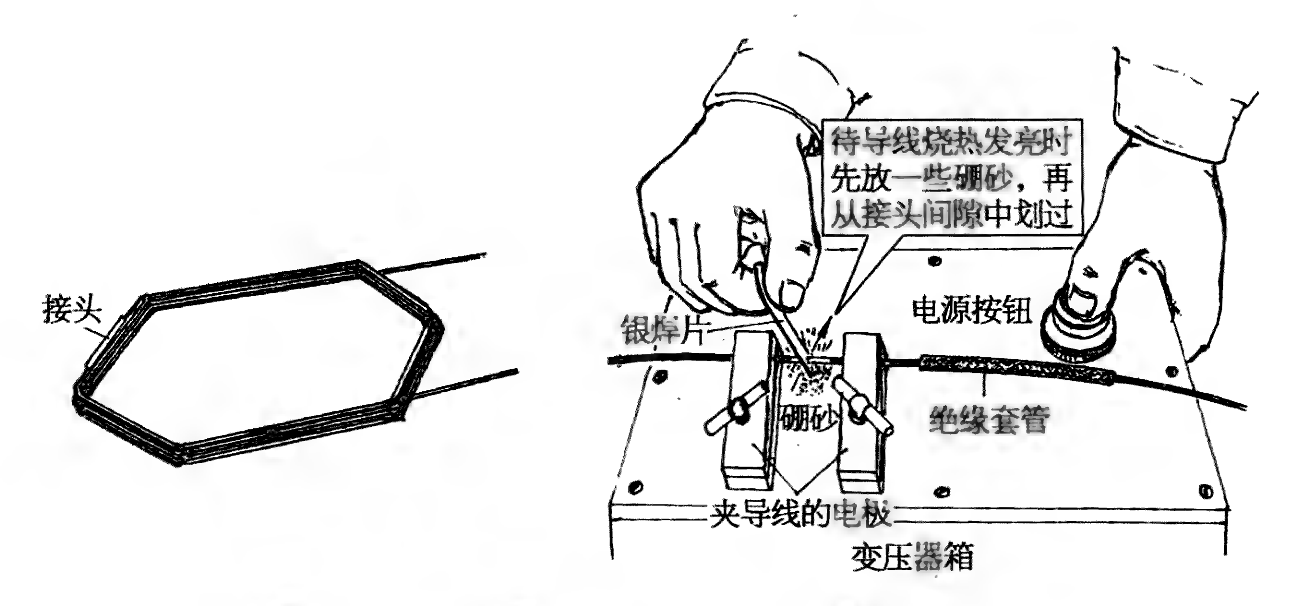


图5-13 一个线圈中的导线接头位置　　图5-14 用银焊片通电熔焊的操作方法

使用银焊片通电熔焊的方法如图5-14所示,所用的变压器类似于单相交流弧焊机,输出电压应在36 V以下。具体操作方法是:事先将要对接的漆包线两端的漆皮去除,在一端套上一段粗细合适的绝缘套管,将两线端夹在电极上,两端刚刚相接触。按下电源按钮后,待导线烧热发亮时,在导线接触部位撒一些硼砂,将银焊片从导线对接处划过(要控制划过的时间),进行1~3次后,松开电源按钮。查看是否焊好(焊接牢固,焊点光滑,无毛刺),若没有焊好,则将导线端头截断后,重复上述过程。

(3) 中途换线时,应检查所换线是否符合要求,其中包括牌号和线径、外观等。

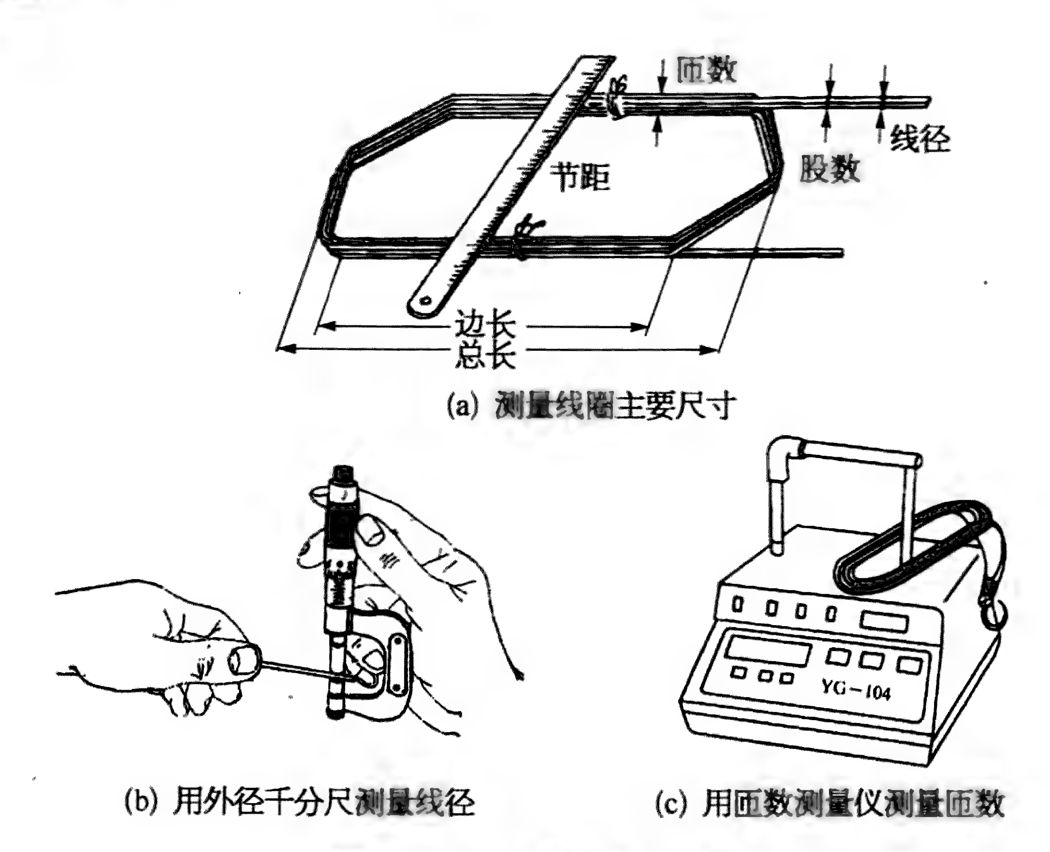
(4) 绕制后的绕组应放在干净处,并采取措施防止灰尘和其他杂物的污染。

5.4.2 线圈质量检查

对绕好的线圈,应检查的项目有:① 节距;② 直线边长度;③ 端部长度和拐角情况;④ 总长;⑤ 整个线圈的导线顺直整齐情况,不得有硬折弯,若有连接点,应处在端部外侧,并且不得多于1个;⑥ 漆皮是否有脱

落、刮伤或漆瘤；⑦ 线径是否正确；⑧ 匝数。有关项目如图 5 - 15a 和图 5 - 15b 所示。

电机绕组的匝数是一个相当重要的参数，必须得到保证。当匝数较少或生产批量很少时，可用人工数数的简单办法检查；使用匝数检测仪进行测量的方法如图 5 - 15c 所示。



(a) 测量线圈主要尺寸

(b) 用外径千分尺测量线径

(c) 用匝数测量仪测量匝数

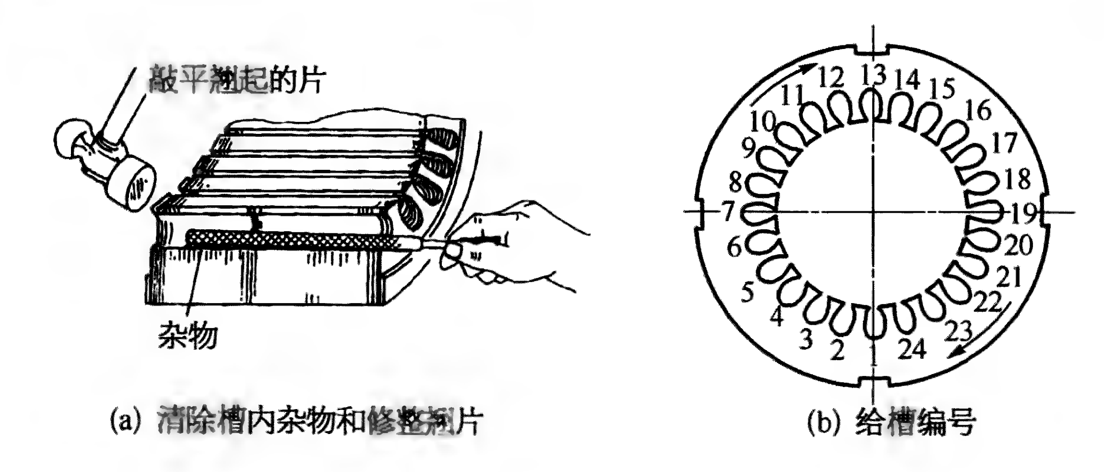
图 5 - 15 对线圈质量的检查

6 三相定子散嵌绕组的嵌线工艺过程

6.1 嵌线前准备工作

（1）对要用的线圈进行复查。复查项目及方法见第 5 章 5.4.2。

（2）清理槽内和修整翘片。用锉刀或其他合适的工具清除每个槽内附着的杂物并用压缩空气等将槽内吹干净。铁心两端若有翘片，用榔头将其敲平，如图 6－1a 所示。



(a) 清除槽内杂物和修整翘片　　(b) 给槽编号

图 6－1　嵌线前应进行的准备工作

（3）给槽编号。给铁心各槽按顺时针顺序编号，可隔 1 个标 1 个。1 号槽一般应是 U 相的 U1 端出线位置，如图 6－1b 所示。若嵌线技术已很熟练，可不进行此项工作。

6.2 嵌线、接线和端部包扎常用工具

嵌线、接线和端部包扎常用的工具及使用说明见表 6－1。另外，还要

表 6－1　嵌线和接线和端部包扎常用的工具及使用说明

名　称	实　　图	用途及使用说明
清槽专用双头锉	焊接 扁锉 圆锉	由一个圆锉和一个平锉在手柄处焊接起来组成。使用时可互做手柄深入到较长的槽内清理槽内高片和杂物

（续表）

名　称	实　　图	用途及使用说明
划线板	30~35 mm 200~240 mm 前端截面	用尼龙材料或竹片制成，其前端截面应呈椭圆形，头部应呈圆弧状。要经常保持光滑，以防止划伤导线和槽内绝缘
压线板（压脚）	a=30~50 mm h 底面	用于压紧槽内导线或叠压槽绝缘封口。用钢板制作，其压脚部位应进行热处理，使其有较高的硬度和强度；底面四角应磨光并呈圆弧形，纵向可磨成反瓦片状，以利于插入槽中和在槽内前后行走。根据电机槽截面的宽窄，可准备不同压脚宽度的压线板
压线用钢钎		用具有一定弹性和强度的钢条制成，截面制成弓形。其用途同压线板
尼龙或塑料铁心锤		由一个圆柱形铁心外包尼龙（或塑料）制成。用于通过垫打板敲打绕组端部
铁榔头		用于敲击修整铁心或通过垫打板敲击绕组端部
垫打板、棍		用硬木板或尼龙板等制成。在用榔头敲打绕线组时，将其垫在绕组上，可防止伤害导线的绝缘。根据需要，截面可为图示的圆形或椭圆形
剪刀		用于修剪相间绝缘、槽绝缘或截取绝缘套管、绑扎带等。弯口剪刀是医用剪刀的一种，用于修剪小型电机槽口多余的绝缘和端部相间绝缘时，比普通剪刀更得手
铲刀		用锋钢自制，用于铲除露在槽口外面的多余槽绝缘
尖嘴钳		用于截断导线和插拉槽绝缘，有时也用于推拉槽楔或相间绝缘等
刮漆皮刀		用钢片制成。用于刮掉电磁线接头部位的漆皮
电烙铁		用于焊接导线。所选规格功率大小视所焊接导线的粗细而定
黄铜丝穿线针	铜焊或锡焊	用于穿引绑线或布带。一种用黄铜丝（直径 2 mm 左右）对折后，将两个端头焊在一起，绑线或布带可靠两根铜丝的夹力卡住

（续表）

名　称	实　　图	用途及使用说明
不锈钢片穿线针	① ② ③	用不锈钢片制成，尖端要磨圆滑，用于穿引布带，其方法如图所示：① 布带穿过针孔；② 用针尖穿透布带端部；③ 拉针使布带锁住
小型手动冷压钳、液压冷压钳		用于压接引出线接头（俗称线鼻子，也称为 OT 接头）
液压切线钳		用于切断较大截面积的引出线电缆
剥线钳		用于剥去导线的绝缘层

用到气焊、碳精锡焊机（用于较大接头的锡焊）、熔锡锅等工具，这些将在用到时再介绍。

6.3　定子绕组绝缘材料、裁制方法和尺寸要求

根据电机规格大小、电压高低等不同的要求，定子绕组嵌线需要的绝缘材料有槽绝缘、层间绝缘、盖纸条、相间绝缘等纸状绝缘材料和云母板、玻璃布板等。

不同绝缘等级的电机采用不同等级的绝缘材料。以下所介绍的内容中，是以 Y 或 Y2 系列电机所采用的 DMD（其中：M 代表“聚酯薄膜”，“D”代表“聚酯纤维纸”，也叫“聚酯纤维无纺布”，简称“无纺布”）或 DMD+M 为例给出的。

1. 绝缘材料的剪裁

为使绝缘材料发挥其较好的力学性能（主要是防划防裂），应考虑剪裁和使用方向问题。图 6－2 给出了两种材料的剪裁方向。其他材料应



图 6－2　绝缘材料的剪裁方向

注意其使用说明或通过实验来确定。

2. 绝缘的种类及尺寸

图 6-3a 为双层绕组叠口式绝缘的截面，图 6-3b 为单层绕组盖口式绝缘的截面；前者有两种绝缘，即槽绝缘及层间绝缘。后者也有两种绝缘，即槽绝缘及盖口绝缘（俗称盖条）。

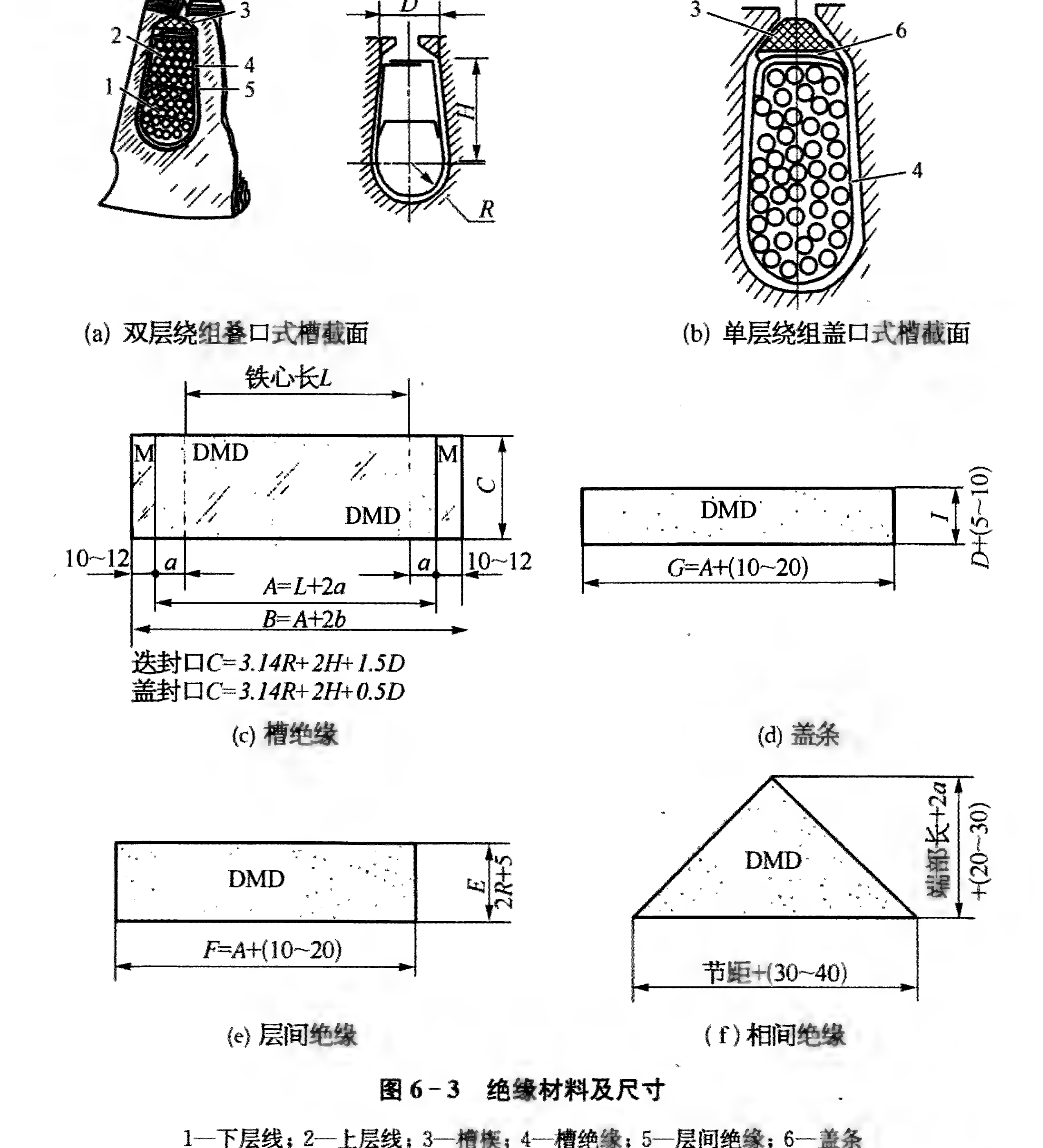


图 6-3 绝缘材料及尺寸

1—下层线；2—上层线；3—槽楔；4—槽绝缘；5—层间绝缘；6—盖条

另外，在绕组端部各相之间要夹一层绝缘，称为相间绝缘，一般裁成三角形，最后进行修剪。

各种绝缘的剪裁形状及尺寸见图 6-3c、d、e 和 f，图 6-3c 中两端的

M 表示在绝缘 DMD 上再附一层 M，M 比 DMD 两端各长出 10～12 mm，使用时折包在 DMD 上。图中 a 值见表 6－2。

表 6－2 槽绝缘伸出铁心长度 a 的推荐值 (mm)

机座号	≤71	80～100	112～160	180～225	250	280	315	355
a	7.0	7.5	8.0	10	12	15	18	22

6.4 定子绕组嵌线工艺及实例

尽管三相绕组有几种不同的型式以及单、双层之分，但其嵌线工艺过程却有很多共同之处。工艺顺序按表 6－3 和表 6－4 介绍的内容进行，其中有些内容要根据电机的大小和具体工艺情况加以取舍。

表 6－3 定子绕组嵌线共用工艺过程之一——安放槽内绝缘

序次	过程名称	操作方法和注意事项	图示
1	安放槽绝缘	当使用 DMD＋M 时，先将 M 两端折包在 DMD 上。然后沿纵向折起，用手捏住上口插入槽中。两端露出槽口的长度要相等	DMD+M，M
2	安放层间绝缘	用手将层间绝缘捏成向下弯曲的瓦片状，插入槽中下层线上。要盖住下层线	
3	安放盖条	操作方法与安放层间绝缘完全相同。同时要求将其插入槽绝缘内并将导线包住	

表 6－4 定子绕组嵌线共用工艺过程之二——嵌线和端部整形

序次	过程名称	操作方法和注意事项	图示
1	理线	解开线圈的一个绑扎线，两手配合，先用右手将线圈边理直捏扁，再用左手捏住线圈的一端向一个方向旋拧导线，使直线边呈扁平状	
2	插放引线纸	将两片 M 薄膜插放在槽内。该纸高出槽口 40～60 mm，称为引线纸。用于引导导线顺利嵌入槽内	引线板(M薄膜)

（续表）

序次	过程名称	操作方法和注意事项	图　示
3	嵌线入槽	右手捏平线圈直线边，左手捏住线圈前端（非出线端），使直线边和槽线呈一定角度，将线圈前端下角插入引线纸开口并下压至槽内，左手拉、右手推并下压，将线圈直线边嵌入槽内	
4	划线入槽	当按上述方法导线未能全部嵌入槽内时，可用划线板划入槽中。插入位置应靠槽的两侧，并左右交叉换位，适当用力划压导线进入槽内。为防止导线被划走，在划线时，左手应捏住线圈另一端并用一定力下压。操作时要耐心，防止强行划理交叉线造成导线绝缘损伤，划线板的尖端不要划到槽底，以避免划破槽底绝缘	
5	安放起把线圈垫纸	起把线圈是为了让最后几个线圈嵌入而有一个边暂不嵌入槽内的线圈。根据槽数的多少和绕组型式的不同，起把线圈的个数也不同。 由于起把线圈的一个边要在最后嵌入槽内，为防止它被划伤或磕伤，特别是被下面的槽口划伤，所以要在它们的下面要安放一块垫纸；一般用绝缘纸或牛皮纸	
6	连绕线圈的放置方法	对于连绕的几个线圈，可平摆在铁心旁，嵌入一个线圈后，将下一个线圈先沿轴向翻转 180°，再将外端翻转 180°，即达到预定位置，如左图所示。也可将所有线圈挂在右手臂上，一个接一个地摘下嵌入，如右图所示。 连绕的线圈都是采用先依次嵌入第一条边，再依次嵌入第二条边，最后逐个进行封槽或插入层间绝缘、盖纸的操作方法	
7	嵌第二条边	在嵌一个线圈的第二条边前，应用两手理顺第二条边，然后再嵌入	
8	插入层间绝缘	将层间绝缘插入后，用压脚插入槽中，用榔头轻轻敲击压脚，从一端到另一端，使下层线压实，以利于上层线的嵌入	

（续表）

序次	过程名称	操作方法和注意事项	图示
9	嵌线过程中的端部整形	在嵌线过程中，应随时对其端部进行整形，这一方面便于导线在槽内固定（未插入槽楔时），同时也便于以后线圈的嵌入，更为最后的端部整形打下一个好的基础。对于较小的或较软的导线，可用两手同时按压一端；对于较大或较硬的导线，则要用榔头通过垫打板敲打。应注意不要用力过大或过猛，以防止压破槽口绝缘或打破导线绝缘，造成对地短路或匝间短路	椭圆垫打板
10	每个线圈的端部包扎	对于较大容量（机座号 200 以上）某些规格的电机，为了加强线圈端部之间的绝缘，可采用每个线圈端部都包一段绝缘漆布带的工艺	漆布带 拉紧后剪去多余部分 过线
11	槽绝缘封口和插入槽楔	槽绝缘封口和插入槽楔一般都是同时完成的。以迭式封口为例，先用左手拿压脚从一端将槽绝缘剩出部分的一边压倒并向另一端推进，将该边在整个槽内都被压倒。当压脚退回一段距离后，用右手拿一根槽楔，将槽绝缘的另一个边压倒叠在用压脚压倒的边上。一边后退压脚，一边推进槽楔，至整条槽楔插入为止。当槽楔在最后一段手无法用力时，可用划线板的根端或另一只槽楔顶进。用压线钢钎进行操作的方法与上述相同	后退 槽楔 推进
12	翻把	翻把又称吊把（“把”是对线圈直线边的称呼）。是为了嵌入最后几个线圈的第一个边，而将起初几个起把线圈遮盖上述线圈所用槽的线圈边撩起的过程。撩起的线圈可用其他线圈的端头拉住	
13	插入相间绝缘	相间绝缘可在嵌线过程中插入，也可以在嵌线全部完成后插入。但对于多极数和多槽的较大容量电机，由于线圈端部相互挤压得较紧，最后插入比较困难，所以应采用边嵌线边插入相间绝缘的办法。相间绝缘应插到铁心端面。对端部进行初步整形后，用剪刀剪去露出的相间绝缘，但应留下一定尺寸，高出导线的尺寸为：端部内圆 3 mm；外圆 5 mm	高出导线尺寸 内圆3 mm，外圆5 mm

（续表）

序次	过程名称	操作方法和注意事项	图　示
14	端部整形	端部整形的目的是使端部导线相互贴紧、外形圆整、内圆直径大于铁心内径、外圆直径小于铁心外径。 可采用橡皮榔头敲打整形或用铁榔头通过垫打板敲击整形，如上图所示。在专业修理厂，可准备部分如下图所示的铝质或木质专用整形胎插入端部内圆，然后拍打外圆进行整形	手柄 专用整形胎

6.5 绕组嵌线工艺实例

6.5.1 绕组展开图说明

(1) 为绘图和讲述方便，示例尽可能选用了最少槽数的方案，并且绘出的只是出线端的端面平视图。

(2) 从出线端看去，嵌线后退方向为顺时针。

(3) 图中每个极相组中各线圈之间按连绕的方式给出。

(4) 三相绕组单层示例按 U、V、W 相的顺序分别用粗实线、细实线和虚线表示；双层用三种粗细不同的线表示。

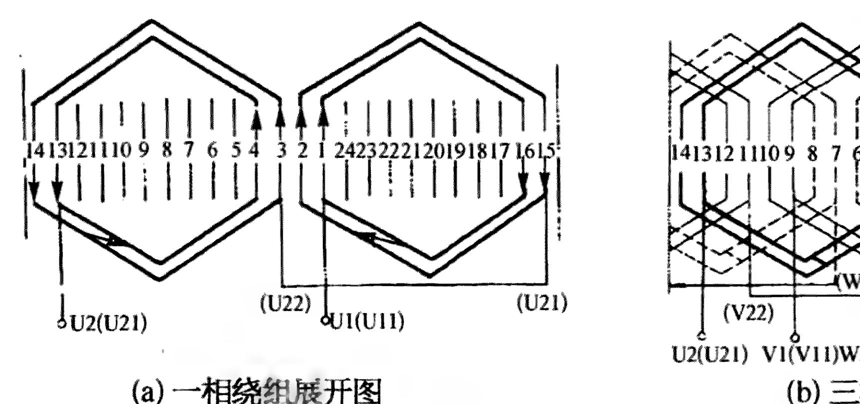
(5) 三相绕组的接线是按常规理论所绘的展开图进行的，但实际应用中，为了接线简短或相序的需要，可能会改变接线位置，但三相间的相位及各相头尾间的连接顺序不可改变。

6.5.2 单层同心式绕组

1. 参数和展开图

型号：Y100L—2。有关参数：槽数 $Z_1=24$；极数为 2($p=1$)；大线圈节距 $y_1=11$(或 1—12)；小线圈节距 $y_2=9$(或 2—11)；支路数 $a=1$(一路串联)；每极每相槽数 $q=4$。

图 6-4 为本例的绕组展开图。其中图 6-4a 是一相(U 相)的，图 6-4b是三相的。下端为出线端，按与嵌线后退方向为顺时针(平面为从右向左)方向排列槽号(其他书中，一般是按从左到右的顺序排列槽号，此处这样规定只是为了讲述方便)。



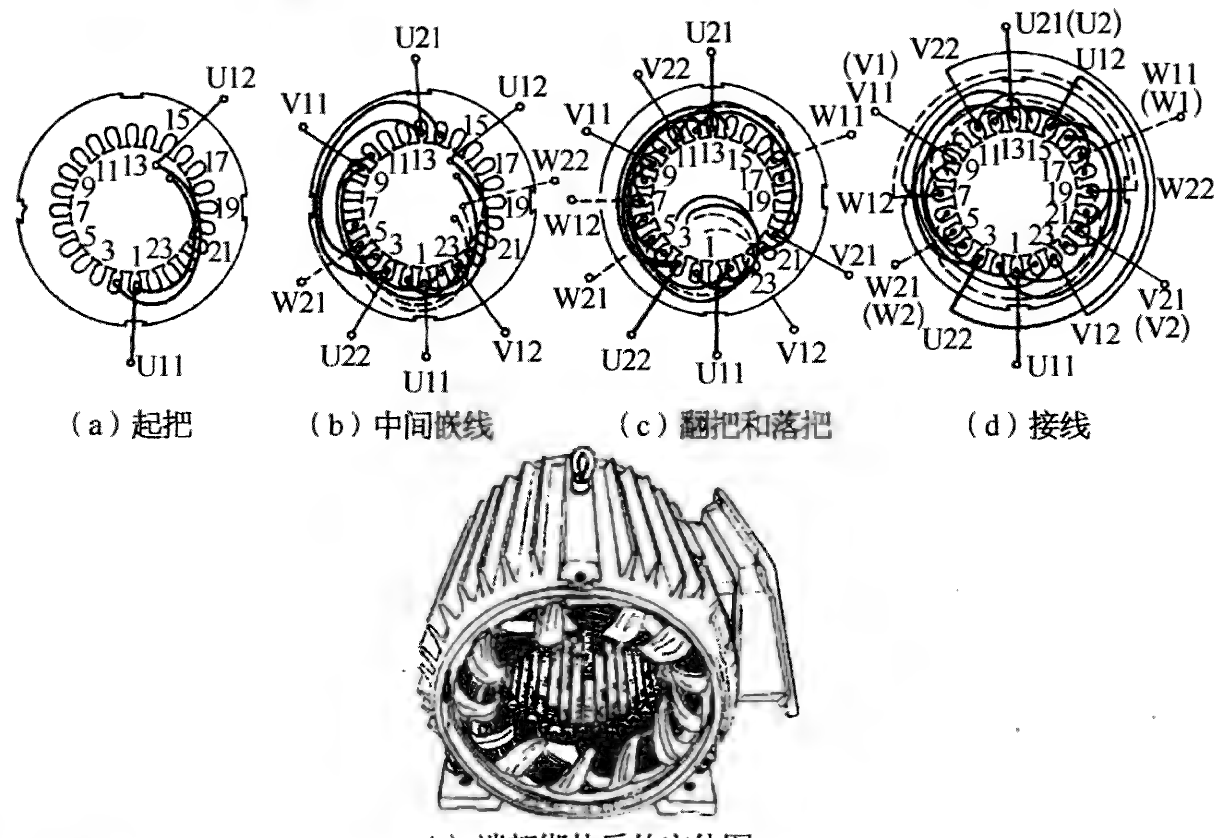
(a) 一相绕组展开图　　(b) 三相绕组展开图

图 6－4　24 槽 2 极 1 路同心绕组展开图

2. 嵌线、放置绝缘、整形和接线过程

1）起把

将 U 相一组共 2 个线圈的两个边分别嵌入 1 号和 2 号槽内。另两个边暂不嵌入，此为前两个起把线圈。如图 6－5a 所示。后退隔 2 个槽（即 3、4 号槽），在 5、6 号槽嵌入 W 相的两个线圈边。另两个边暂不嵌入，此为后两个起把线圈。如图 6－5b 所示。



（a）起把　　（b）中间嵌线　　（c）翻把和落把　　（d）接线

(e) 端部绑扎后的实体图

槽序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
嵌线次序号	1	2	11	12	3	4	15	16	5	6	19	20	9	10	21	22	13	14	23	24	17	18	7	8

图 6－5　24 槽 2 极 1 路同心绕组嵌线过程

2）中间嵌线

再隔 2 个槽(7、8 号)，在 9、10 号槽嵌入 V 相的两个线圈边。其另两个边分别嵌入 23、24 槽内。如图 6－5b 所示。以后，按上述(1)的过程，每嵌 2 个线圈后，后退 2 个槽再嵌两个线圈。直至嵌到 17 和 18 号槽内。如图 6－5c 所示。对于较大的电机，每嵌入一个线圈边都用槽楔封好；较小的电机(如机座号在 132 以下)，可在所有线圈嵌完后一起插入槽楔封槽。

3）翻把和落把

当要嵌 21 和 22 槽时，原 4 个起把线圈就起了妨碍作用。因此需将其翻起，使 22 号及以前的槽露出来。如图 6－5c 所示。当 20、21 号槽嵌好后，按 15、16、19、20 的顺序将 4 个起把线圈边嵌入。即落把。插入槽楔，封好槽。整理槽楔，使之伸出两端的长度相等。

4）插入相间绝缘

插入相间绝缘并初步整形后，用剪刀修剪多出的相间绝缘。最后再次对端部进行整形。

5）接线

按展开图(图 6－4)所示进行接线，并绑扎，引出 6 条线 U1、U2、V1、V2、W1、W2，如图 6－5d 所示。

3. 嵌线规律

上述嵌线顺序见图 6－5 中对应表。从上述过程中可以看出，本例的嵌线规律如下：

(1) 起把线圈数为 4，即等于每极每相槽数。

(2) 嵌线顺序是每嵌 2 个槽，隔 2 个槽，再嵌 2 个槽。

(3) 一相的一组线圈第一个边嵌入顺序是先小后大，第二个边是先大后小(大小指线圈而言，若有 3 个线圈，则先为小、中、大，后为大、中、小)。

6.5.3 单层链式绕组

1. 参数和展开图

型号：Y90L－4。有关参数：槽数 $Z_1=24$；极数为 4($p=2$)；线圈节距 $y=5$；支路数 $a=1$(1 路串联)；每极每相槽数 $q=4$。绕组展开图如图 6－6 所示。

2. 嵌线、放置绝缘、整形和接线过程

1）起把

在 1 号槽内嵌入 1 个线圈(U 相)；隔 1 个槽，即在 3 号槽内再嵌入 1

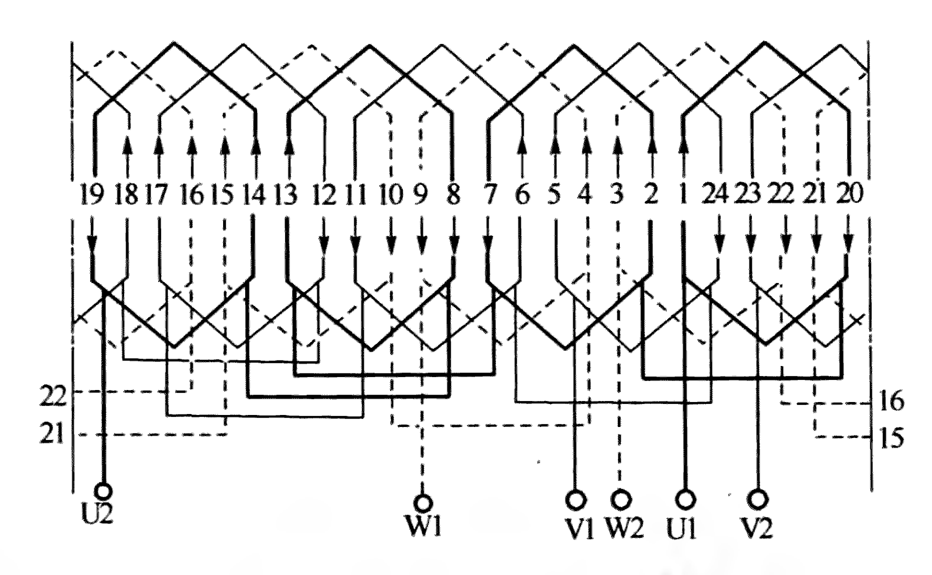
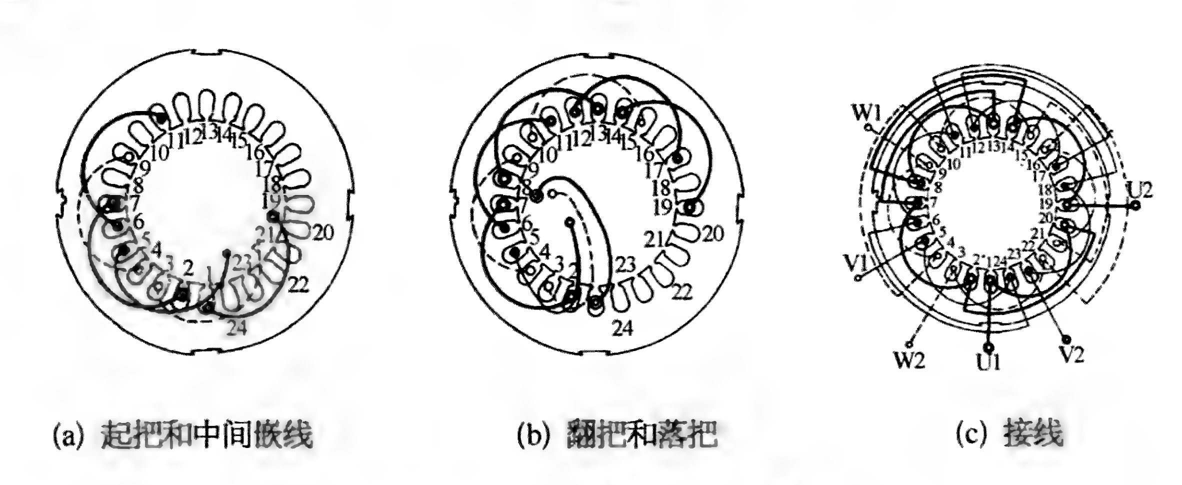


图 6-6　24 槽 4 极 1 路链式绕组展开图

个线圈(W 相);再隔 1 个槽,即在 5 号槽内嵌 1 个线圈(V 相)。这 3 个线圈的另一个边均暂不嵌入,为起把线圈。如图 6-7a 所示。



(a) 起把和中间嵌线　(b) 翻把和落把　(c) 接线

图 6-7　24 槽 4 极 1 路链式绕组嵌线过程

2) 中间嵌线

将第 4 个线圈(U 相的第 2 个线圈)的一个边嵌入第 7 号槽(与第 3 个线圈又隔 1 个槽),另一个边嵌入第 2 号槽(按节距为 5 向前数出来的)。以后均是向后退着(顺时针方向)每隔 1 个槽嵌 1 个线圈,直到嵌到第 19 号槽。如图 6-7a 和图 6-7b 所示。

3) 翻把和落把

当嵌到第 19 号槽后,将前面的 3 个起把线圈翻把,如图 6-7b 所示。再嵌入两个线圈后,依次将前 3 个线圈的剩余边分别嵌入 20、22 和 24 号槽内,完成落把工作。

4) 插入相间绝缘

插入相间绝缘并初步整形。

5）接线、整形

按展开图所示进行各相中的有关连线。若采用一相连绕嵌线掏把的工艺，将无需进行一相中4个线圈间的连线，如图6-7c所示。连线后整形和绑扎。

3. 嵌线规律

(1) 起把线圈3个。

(2) 隔1个槽嵌1个槽。

6.5.4 交叉链式绕组

1. 参数和展开图

型号：Y132S-4。有关参数：槽数 $Z_1=36$；极数为4($p=2$)；大线圈节距 $y_1=8$，小线圈节距 $y_2=7$；支路数 $a=1$（一路串联）；每极每相槽数 $q=3$。三相绕组展开图如图6-8所示。

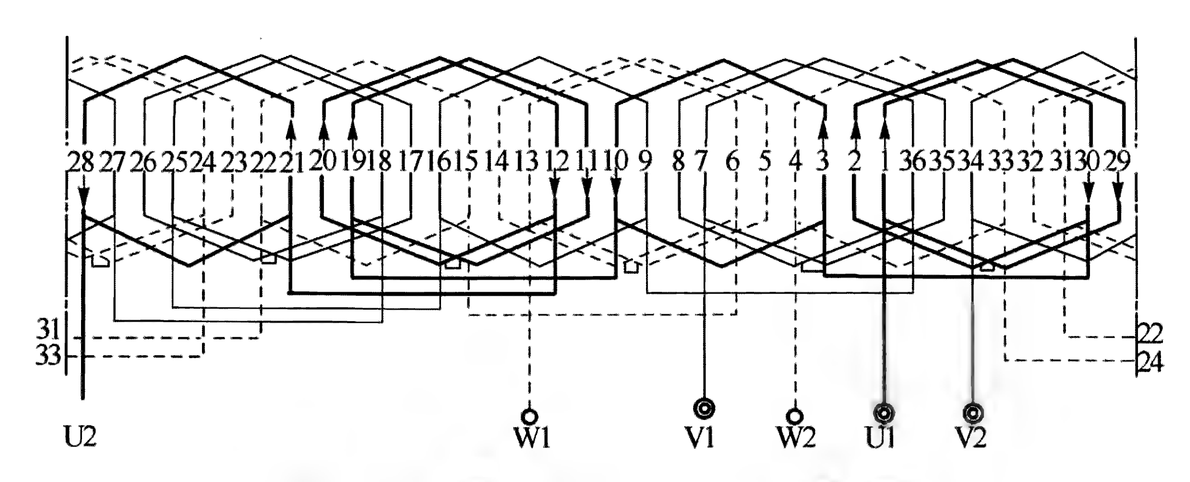


图6-8 36槽4极1路交叉链式绕组展开图

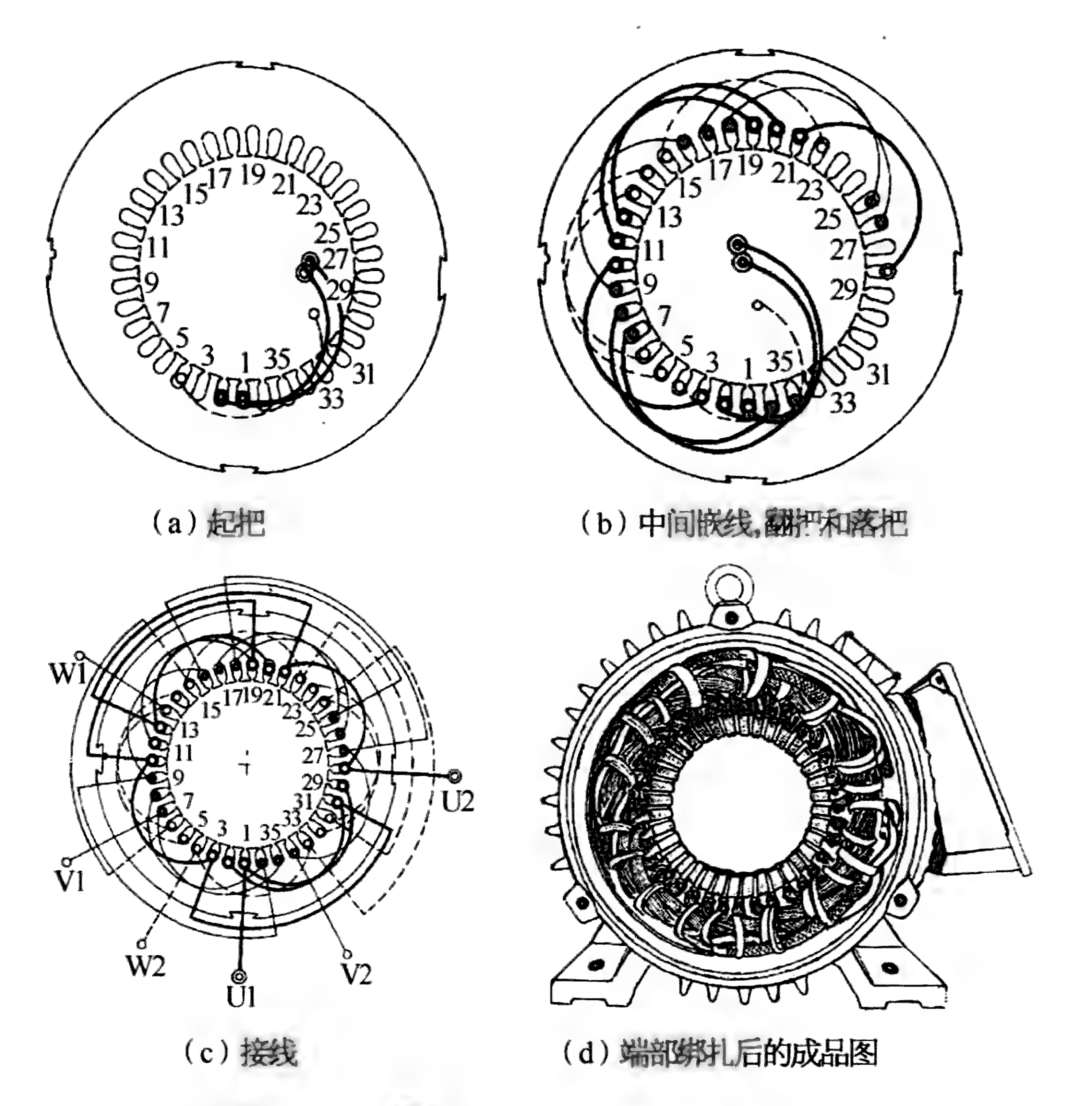
2. 嵌线、放置绝缘、整形和接线过程

1）起把

在1、2号槽内分别嵌入U相大线圈的两个边并插入槽楔。另两个边暂不嵌入。隔1个槽，即在第4号槽内嵌入W相小线圈的一个边，并插入槽楔，另一个边暂不嵌入。以上3个线圈为起把线圈。如图6-9a所示。

2）中间嵌线

上述3个起把线圈嵌入后，隔过5、6两个槽。在7、8两槽内分别嵌入V相的两个大线圈的一个圈边，其另外一个边分别按节距 $y_1=8$ 嵌入35、36号槽内。嵌入后可插入槽楔封槽。再隔过1个槽(9号槽)，在10号槽内嵌入U相小线圈一条边，另一条边嵌入3号槽($y_2=7$)。插入槽



（a）起把　（b）中间嵌线，翻把和落把

（c）接线　（d）端部绑扎后的成品图

图 6-9　36 槽 4 极 1 路交叉链式绕组嵌线过程

楔。以后，一直按上述规律，即“隔 2 个槽嵌 2 个大线圈后，隔 1 个槽嵌 1 个小线圈”进行下去，直至嵌到受起把线圈影响时，即嵌到 28 号槽时。如图 6-9b 所示。

3）翻把和落把

当嵌到 28 号槽后，开始翻把。至嵌到 34 号槽时，开始落把。如图 6-9b 所示。

4）插入相间绝缘及整形

这种型式的相间交叉点比较多，应特别注意不要插错位置。

5）接线。参照展开图进行接线，如图 6-9c 所示。应注意，有的产品为了使接线简短，出线位置可能与图 6-8 和图 6-9 示出的有所不同。

3. 嵌线规律

(1) 起把线圈 3 个。

(2) 嵌 2 个大线圈后，隔 1 个槽嵌 1 个小线圈，再隔 2 个槽后嵌 2 个大线圈，……。

6.5.5 双层迭式绕组

1. 参数和展开图

型号：JO2－61－4，13 kW。有关参数：槽数 $Z_1=36$；极数为 4（$p=2$）；节距 $y=7$；支路数 $a=2$（2 路并联）；每相线圈数为 12。绕组展开图如图 6－10 所示。本例槽号的排列顺序方向与前 3 例相反。

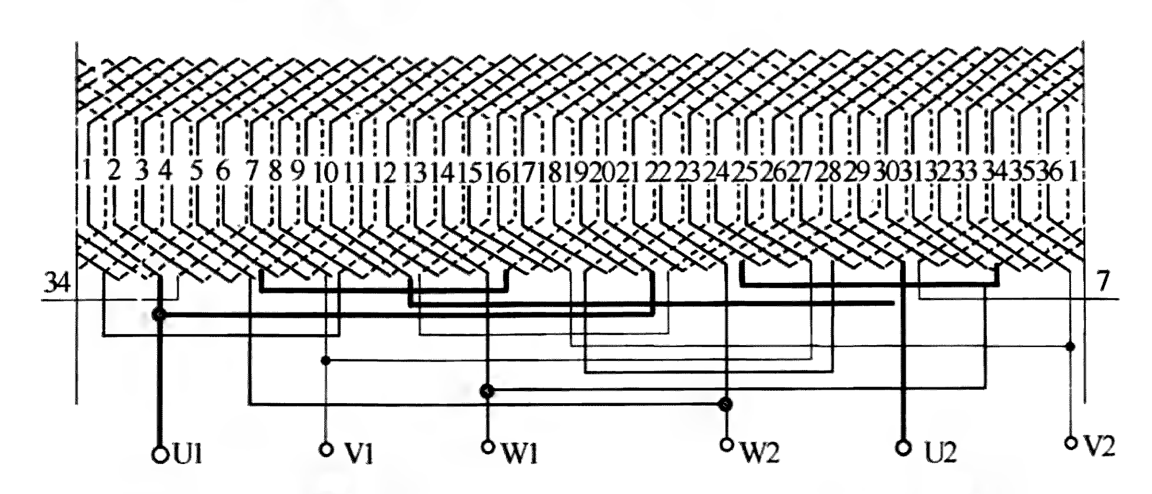


图 6－10 36 槽、4 极、节距为 7、支路数为 2 的双层迭式绕组展开图

2. 嵌线、放置绝缘、整形和接线过程

按槽号排列为反时针方向。嵌线时的顺序沿槽号减少的方向进行。嵌线、放置绝缘、整形和接线过程如下。

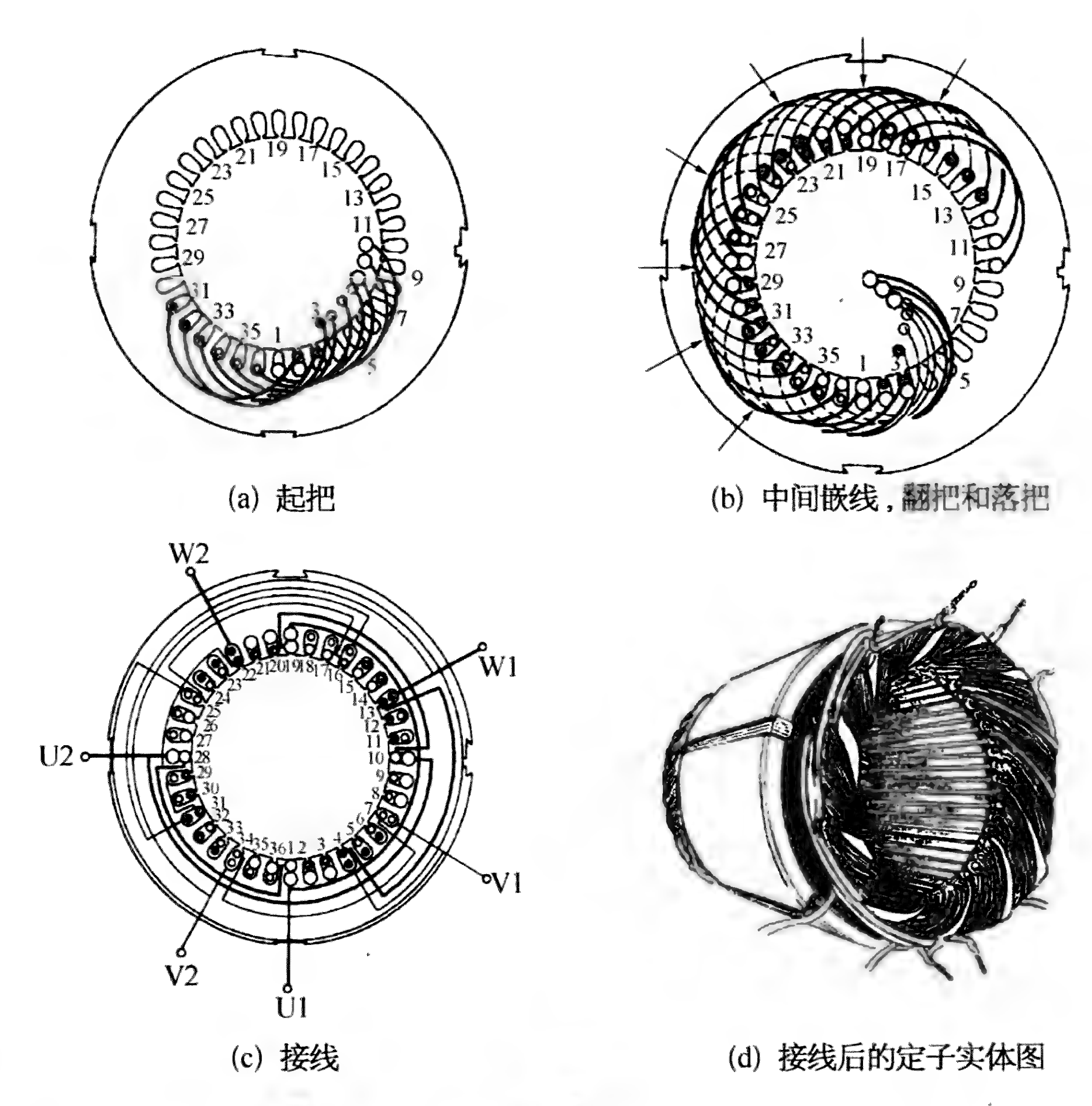
1）起把

从 3 号槽开始倒退着嵌入一相的一组 3 个线圈的第一个边，并插入层间绝缘，另 3 个边暂不嵌入。紧跟着，在 36、35、34 号槽中嵌入另一相的一组 3 个线圈的第一个边，并插入层间绝缘，另 3 个边也暂不嵌入。再紧跟着，在 33、32、30 号槽内嵌入第三相的一组 3 个线圈的第一个边，并插入层间绝缘，第一个线圈的另一个边暂不嵌入。另两个线圈的另两条边可嵌入到 3 号、2 号槽内，嵌入后可插入槽楔封好槽。如图 6－11a 所示。

上述 7 个未嵌入第 2 个边的线圈为起把线圈。这个数值刚好等于线圈的节距 y。这是双层迭式绕组起把线圈个数的统一规律。

2）中间嵌线

与起把过程相同，一相 3 个线圈、一相 3 个线圈地依次嵌入槽中下层后，插入层间绝缘，然后按节距 $y=7$ 将剩余的边嵌入槽中并插入槽楔封槽。每嵌好一相的 3 个线圈即插入相间绝缘。直至嵌到 11 号槽时，进入



(a) 起把　(b) 中间嵌线，翻把和落把

(c) 接线　(d) 接线后的定子实体图

图 6－11　36 槽、4 极、节距为 7、支路数为 2 的双层迭式绕组嵌线过程

翻把和落把过程。如图 6－11b 所示。图中箭头指向为插入相间绝缘位置。嵌线过程中应注意随时对端部整形。

3）翻把和落把

将 7 个起把线圈依次翻起并沿原顺序逐个嵌入新的线圈，即沿 9、8、7、…，依次嵌入。线圈落把应依次进行，即第一把嵌入 10 号槽内，然后为 9、8、7、6、5、4 号槽。如图 6－11(b)所示。

4）整形、接线和绑扎

初步整形后，按展开图接线，如图 6－11c 所示。从图中可以看出一个规律，即：出线槽都是两层线圈为一相两组共享的槽，并且引出的 6 条线均在下层边中。

接线后进行绑扎和整形。

3. 嵌线规律

(1) 起把线圈数为 7，即等于节距数；

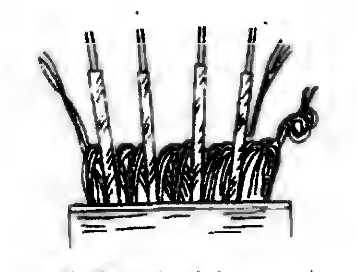
(2) 沿槽号依次排列着嵌入。

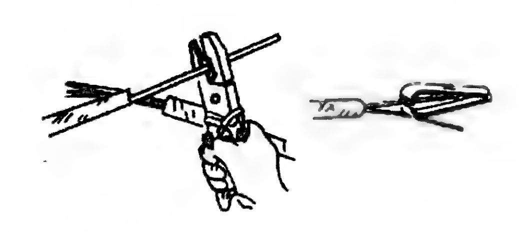
6.6 绕组接线操作方法和要求

绕组各线圈之间以及每一相引出到机壳外接线装置上的连线，都需要进行节点连接。对这些连接要求是：接触可靠、牢固，连接部位的电阻不得大于同等长度所用导线的 90%，对连接部位应采用适当的绝缘，使用的套管等绝缘材料的耐热等级不应低于该电机绕组的等级。

1. 接线准备工作

在接线前应对要连接的导线进行适当的处理，其中包括：① 将所有线端理直并套上一段绝缘套管(一般采用丙烯酸酯玻璃漆管 2740—Ⅱ)；② 将要相连的线排好位置，一般安排在端部的顶部，有的安排在侧面。比好尺寸后，剪去多余部分并将导线去漆皮。如图 6-12 所示。





(a) 将线理直后套上绝缘管　(b) 按图安排好接线位置　(c) 剪去多余的导线后将漆皮刮净

图 6-12　接线准备工作

2. 常用的接线方法

1) 铰接法

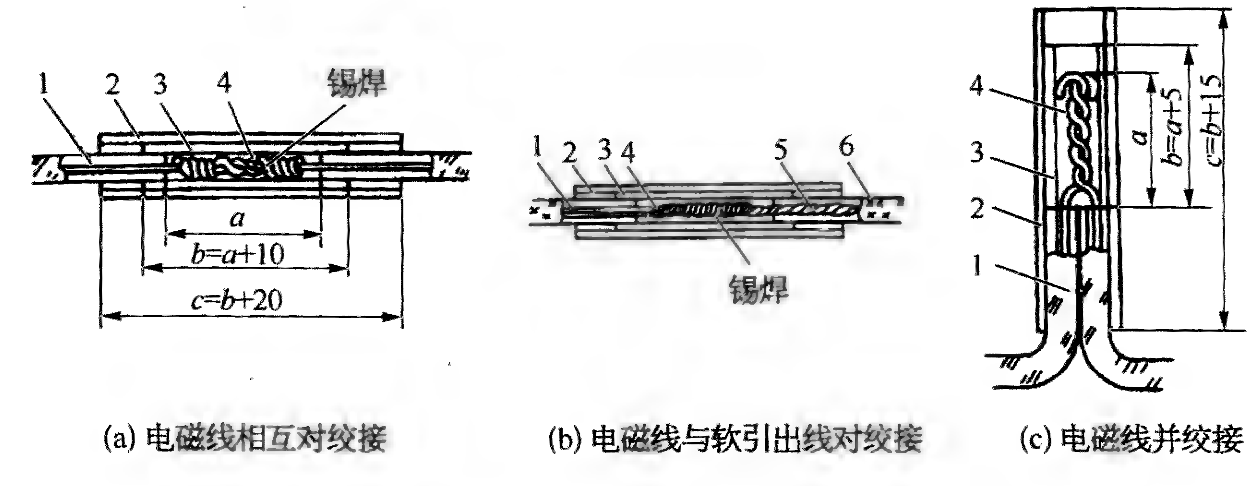
事先将两层丙烯酸酯玻璃漆管 2740—Ⅱ套在要连接的两根导线(已有一层套管)中的一根上。然后根据情况采用合适的方法将导线连接(见图 6-13)，再通过锡焊或气焊等方法将两线牢固地连接在一起后，将上述两层套管置于预定的位置，起到可靠绝缘作用。

2) 锡焊法

对容量较小的电机，可采用锡焊法。先在导线铰接处涂一些焊剂(应用中性焊剂，如松香焊剂)，再用电烙铁进行锡焊。如长期使用，可将烙铁头锉出一条横沟，焊接时，将导线放于沟内，焊锡丝抵在导线上，使其熔化流到导线连接处。如图 6-14a 所示。

3) 气焊法

又称熔焊法，其优点是焊点牢固可靠，是优选的方法。绕组线端与线



(a) 电磁线相互对绞接　(b) 电磁线与软引出线对绞接　(c) 电磁线并绞接

图 6-13　导线连接的铰接方法

1、2、3—丙烯脂玻璃漆管（2740—Ⅱ）；4—电磁线；5—多股软铜线；6—JYJ 型交联聚烯烃引接线



(a) 导线锡焊　(b) 导线气焊　(c) 电磁线与外引线气焊

(d) 电弧焊法1　(e) 电弧焊法2

图 6-14　导线与导线的连接

1—炭精棒；2—手柄；3—电焊钳（接火线）；4—钢丝钳（接地线）

端连接时，先将两线头拧绞在一起，然后用气焊火焰加热其头部使之熔化后熔合，如图 6-14b 所示；绕组线与外引线连接时，先将两者的线端烧熔后再对在一起焊接，如图 6-14c 所示。焊接时，在焊接处点少许硼砂，可加速铜线的熔化。

4）电弧焊法

用类似电焊机的小型单相变压器，一次侧接 220 V 单相交流电源，二次侧一端接要连接的一个线端，另一端接一段炭精棒，用炭精棒点接连接线端，如进行电焊那样操作，接触点就会自熔在一起，如图 6-14d 和图 6-

14e 所示。

3. 接线端子的连接

一般电机均在其引出线端连接一个接线端子。它与引线的连接可以采用冷压法和锡焊法。

(1) 冷压法。用专用的冷压钳压接线端子的颈部。如图 6－15a 所示。

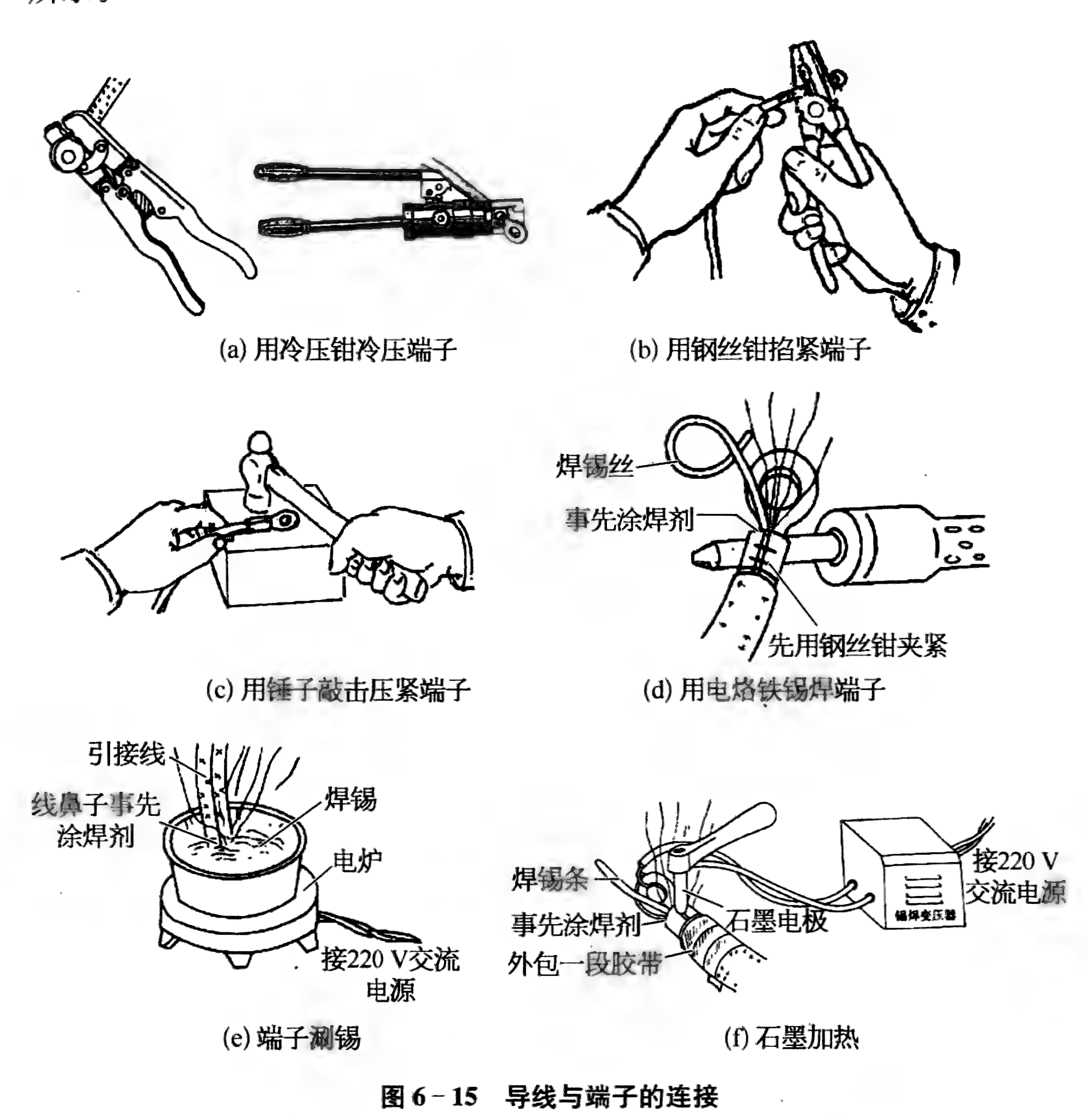


图 6－15 导线与端子的连接

(2) 冷压加锡焊法。先用钳子夹或榔头砸等方法将端子颈部压紧，如图 6－15b 和图 6－15c 所示。然后用下述方法之一进行搪锡，使其更加牢固和接触良好。

① 用电烙铁对端头加热并灌入焊锡。为使锡容易流入内部，事先应在导线端涂适量中性焊剂或将线端先上锡（镀锡软线不必要。如图 6－

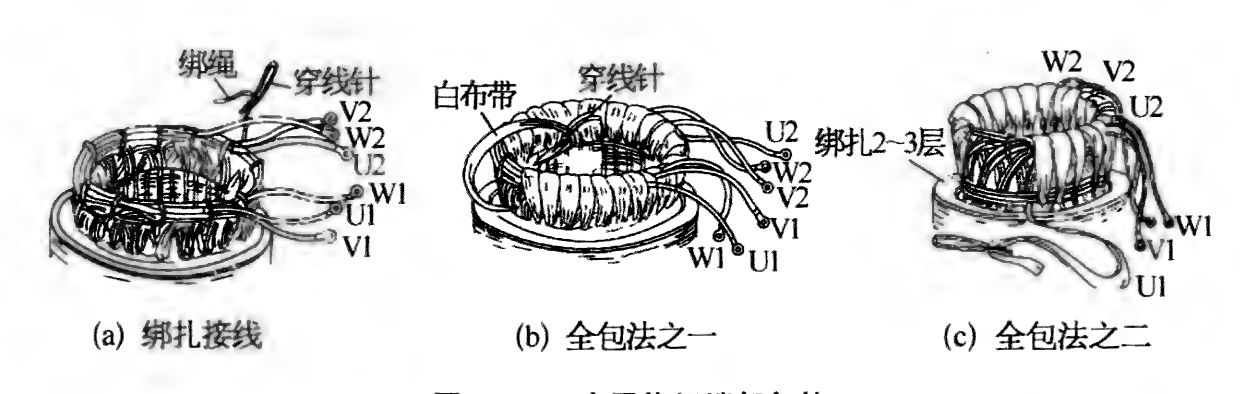
15d 所示。

② 涮锡法。先将端子压在线端并涂适量中性焊剂，然后头朝下插入已熔化的锡液中，待焊剂受热所冒出的烟消失后拿出。如图 6－15e 所示。

③ 石墨加热锡焊法。此方法需备用一套石墨锡焊机。主要用于较大直径导线的焊接。为避免焊剂流到导线端部外层绝缘上和由于过热起火烧损导线外层绝缘，应事先在导线端部包扎 5 mm 左右的胶带（焊好后拆下）。一条线接于端子头部，石墨电极顶在端子颈部。很快，石墨电极就会发热变红，端子上涂的焊剂开始熔化冒烟。使端子头部上翘，将锡条抵在端子上使其熔化并流入端子颈内部。如图 6－15f 所示。

6.7 绕组端部包扎方法和要求

（1）包扎接线。将端部所有接线理顺并使其处于顶部或侧部。用线绳将它们绑扎在端部。注意将引出线捆绑在预定位置。如图 6－16a 所示。



(a) 绑扎接线　　(b) 全包法之一　　(c) 全包法之二

图 6－16　定子绕组端部包扎

（2）端部包扎。最简单的方法是用线绳将端部进行相略地绑扎一下；较简单的是用白布带隔两个或一个槽打一个扣进行绑扎；最复杂的是用白布带一槽一槽地连续包扎，被称为全包。如图 6－16b 所示。对于某些电机，则要先在根部沿圆周方向绕扎 2～3 层白布带，将绑扎带穿过该带的下部进行包扎。如图 6－16c 所示。

（3）包扎时，要注意防止相间绝缘移位，必要时可让布带穿过相间绝缘。

（4）安排好出线位置。对于右出线或顶出线电机，6 条引出线的位置应如图 6－16 所示。

6.8 定子成型绕组的嵌线工艺

6.8.1 绕组的类型和绝缘结构

一般情况下，定子成型绕组是一个线圈作为一个单元，常用于高压电机。根据制作时所用的绝缘材料和工艺，分“模压”和“少胶”两大类。“模压”线圈的绝缘在制作线圈时通过加热固化，已全部成型，绝缘层比较厚；“少胶”线圈的绝缘在制作线圈时没有固化过程，所以并未完全成型，绝缘层比较薄。图 6－17 给出了两种线圈的外形图。

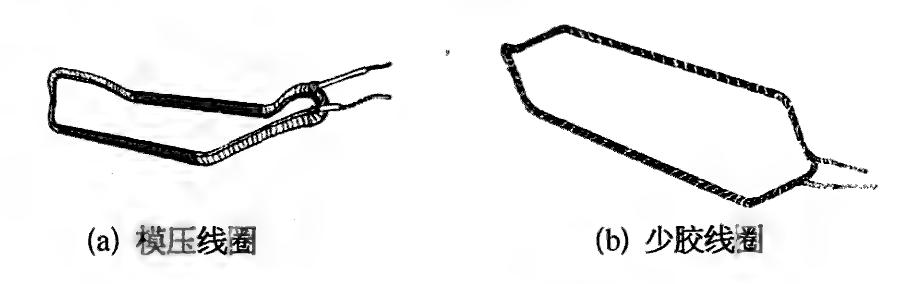


图 6－17 成型绕组线圈示例

成型绕组线圈一般用绝缘扁铜线绕制，使用专用机械拉弯成需要的形状后，用含胶的云母带进行半叠包，“模压”线圈还需通过加热固化成型，其绝缘材料和工艺与电机电压有关，以 6 000 V 级“少胶线圈”为例，其结构如图 6－18 所示。由于工艺相对复杂，需用专用设备，本书不作详细介绍。

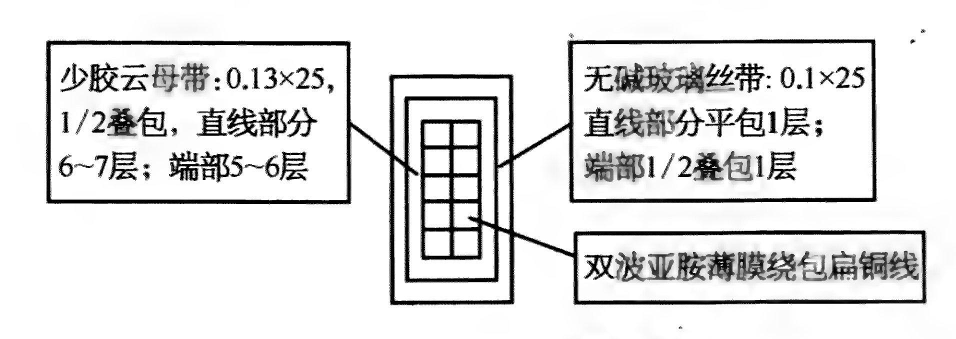


图 6－18 6 000 V 级“少胶线圈”绝缘结构

6.8.2 对绕组的检查和要求

1. 外观检查

模压绕组表面应无余胶和其他杂物；直线部分应平直、无尖角和飞

刺；颜色应均匀；端部形状应基本一致；直线与端部过渡应无明显的凹凸和褶皱现象。

直线部位的绝缘应牢固密实，无内部发空现象。可用图 6－19 所示的黄铜实心球锤敲击绕组，通过发出的声音进行检查和判断。

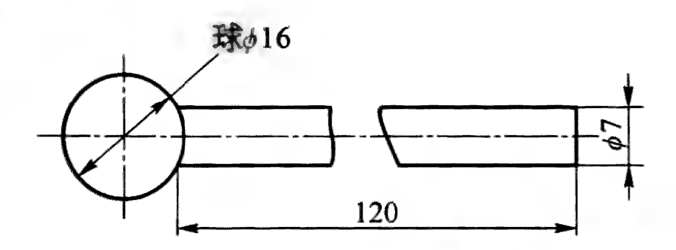


图 6－19　检查绕组密实情况的黄铜实心锤尺寸

对于用绝缘带包绕的成型绕组，应注意其包绕是否平实；直线部分应顺直；端部应基本一致；弯转部位应圆滑无明显的褶皱；包绕材料不应翘起。

2. 对绕组几何尺寸的检测

图 6－20 给出了中型模压成型绕组的几何形状和尺寸标注符号。表 6－4 列出了检测项目、检测方法和尺寸公差标准[选自行业标准 JB/T 50132《中型高压电机定子线圈成品产品质量分等》中的合格品标准所规定的内容(该标准适用于额定电压为 3 kV、6 kV、10 kV 级，绝缘等级为 B、F 级的中小型高压交流电机定子线圈的质量分等、试验方法及检验规

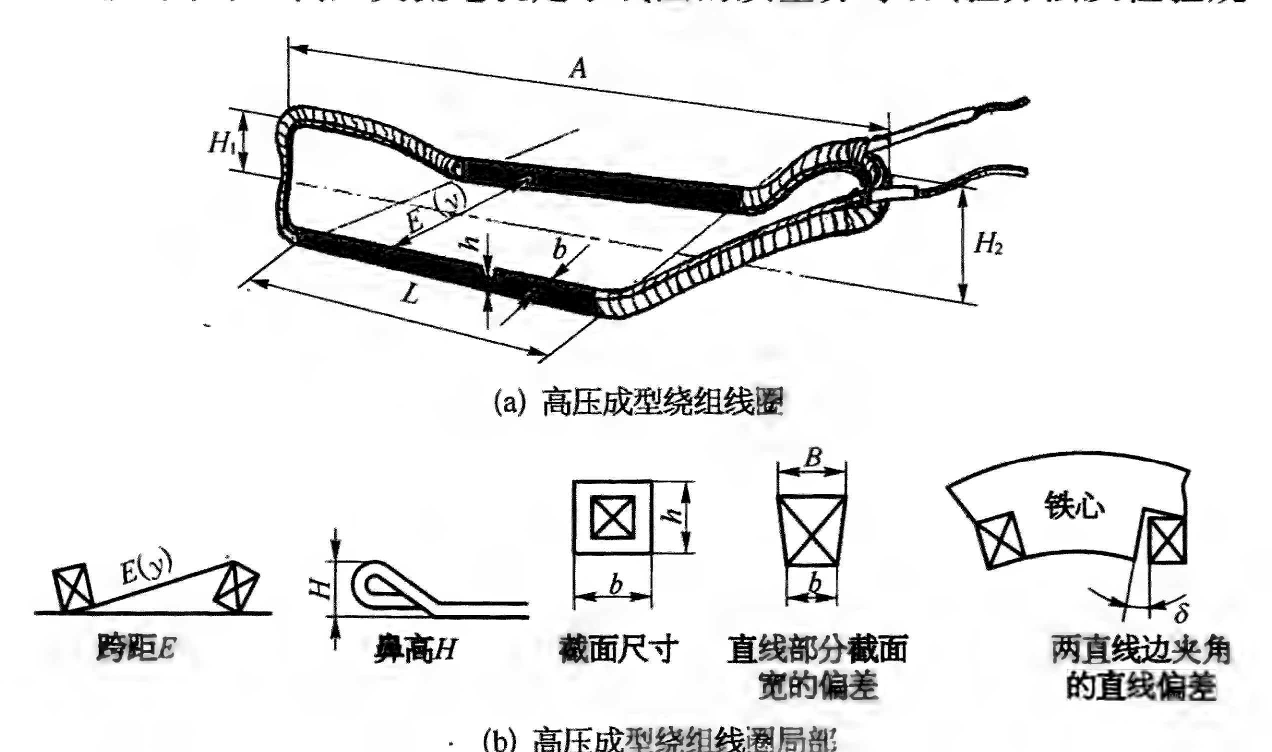


图 6－20　交流电机成型绕组的几何形状和尺寸标注符号

则)],其他标准是国内一些电机生产厂家内定的数值,所以仅供参考。在检查时,对绕组的跨距(节距)E 或 y、两直线边夹角的直线偏差 δ 以及鼻高 H 三项,若不合格,允许进行调整后再次进行测量。

表 6-4　成型绕组几何尺寸检测项目、检测方法和公差标准

尺寸名称	检测方法	公差参考标准(mm)
总长 A	用卷尺或钢板尺测量	±10
直线部分宽度 b 和高 h	用卡尺测量。每边各测 3 点(直线边的中心点和两端槽口处)	$b^{+0.2}_{-0.4}$;$h^{+0.4}_{0}$(负差不考核)
端部宽度 b' 和高 h'	用卡尺测量。测量点在斜边的 1/2 处(防晕处理线圈过防晕层)	$b'^{+2.0}_{-0.5}$;$h'\pm1.5$
直线部分截面宽的偏差 $B-b$	用卡尺测量。每边各测 3 点(直线边的中心点和两端槽口处)	≤0.4
跨距(节距)E 或 y	用卷尺或钢板尺测量	2、4 极±7;6 极及以上±5
两直线边夹角的直线偏差 δ	以冲片、角度样板或角度仪测量	<2.5
鼻高 H	用卷尺或钢板尺测量	2、4 极±7;6 极及以上±5
槽内部分凹坑深度	用尖头外径千分尺测量	≤双面绝缘厚度的 5%

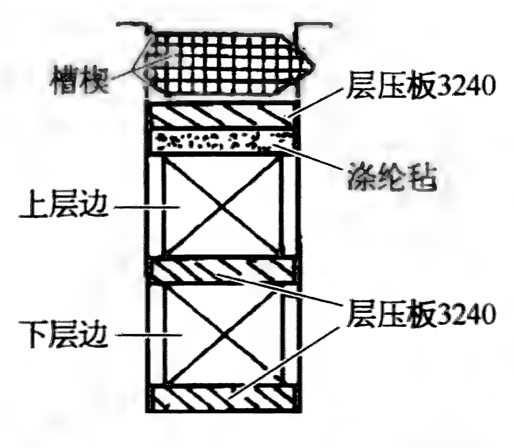


图 6-21　6 000 V 级"少胶线圈"在槽内的绝缘结构

6.8.3　嵌线工艺

以 6 000 V 级高压电动机少胶线圈为例,进行介绍。

一般情况下,使用成型线圈的电机绕组都是双层迭式,图 6-21 是 6 000 V 级"少胶线圈"在槽内的绝缘结构,为开口槽。

嵌线工作一般要两个人合作进行,其工艺过程如下:

(1) 分别在铁心两端压圈专用固定螺孔中旋入 3~4 根螺栓,螺栓的长度应不少于线圈端部长度。将包好绝缘的端箍(内芯为圆钢 Q235—A,绝缘工艺视线圈的电压等级而定,例如 6 000 V 级少胶线圈的是:内用 0.13×25—9547—1D 中胶云母带,1/2 叠包 5~6 层;外层用 0.1×25 聚酯纤维带 1/2 叠包 1 层)用绳绑在螺栓上。放入一只线圈(两条直线边均放入槽内),调整好

轴向位置,使伸出铁心的两端长度相同。调整端箍的轴向位置,使其在线圈端部靠外端 1/3 或端部中间靠外的地方。固定位置的原则是使绕组端部的喇叭口符合要求。上述调整完成后,将端箍绑紧在螺栓上。

(2) 为了嵌线更顺利,最好事先将线圈放入烘箱中进行预热 15～20 min,温度控制在 80～90℃之间,使线圈变得较软。嵌线过程中,随用随取。

(3) 由于是单只线圈,所以起始线圈可从任意位置的槽开始。放入槽底绝缘板(3240 层压板),将第一只线圈的下层边放入一个槽中,可用橡皮或塑料榔头轻轻敲击帮助嵌入槽内(严禁使用铁榔头),上层边浮搁在应嵌入的槽中。线圈轴向位置调整好后,用涤玻绳将其下层边绑在端箍上,绑的方法如图 6-22 所示。

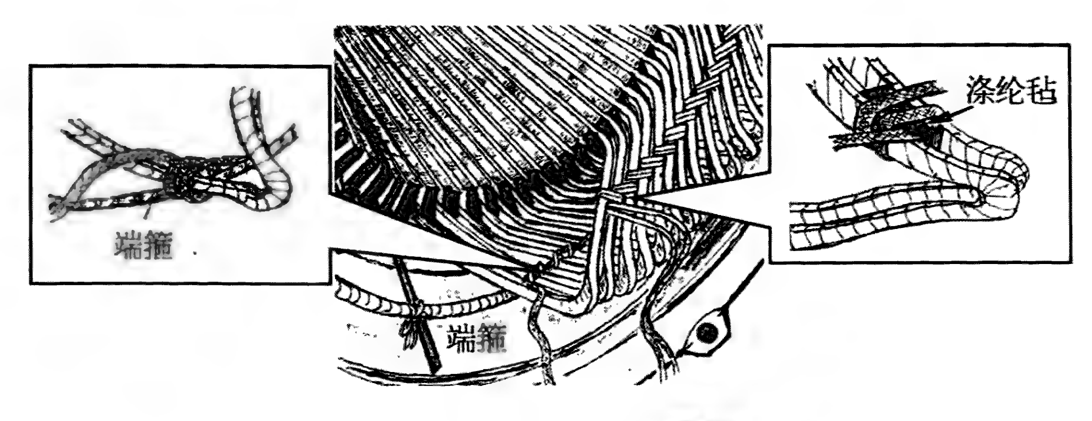


图 6-22 端部绑扎示意图

(4) 连续嵌到节距数时,放入层间垫条,将线圈的上层边嵌入,敲紧,放入涤纶毡(聚酯毡)和层压板,打入槽楔(应有一定紧度,如松动,应添加垫片。本过程可在嵌线全部完成后统一进行)。之后依次嵌入其余的线圈。直至需要"吊把"时为止。

(5) 在上述嵌线过程中,每嵌一只线圈,都要对其进行绑扎,若两只线圈边之间使用涤纶毡垫片,则垫片厚度和片数按线圈之间的间隙确定。

(6) 嵌"吊把"线圈前,应将整个定子放入烘箱中,在 80～90℃之间的温度中放置 3 h 左右,使线圈变得较软后,将"起把"线圈撩起,将"吊把"线圈依次嵌入。

(7) 修整线圈端部形状和槽楔位置,清理残存的杂物。检查线圈有无松动和损伤,有则进行有效的处理。拆除绑扎端箍的辅助螺栓。

嵌线完工后的定子如图 6-23 所示。

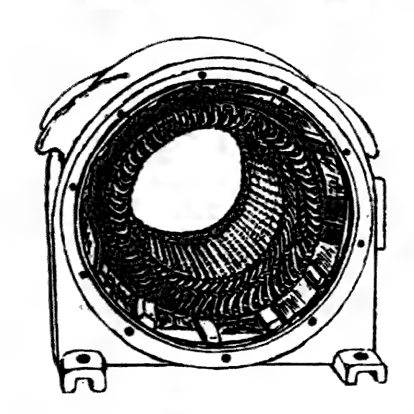


图 6-23 嵌线完工后的成型绕组定子示例

6.8.4 嵌线后接线前的检查和试验

对于成型绕组，为了避免接线后发现问题时给处理造成较大的困难，应在嵌线后接线前应进行一些必要的检查，其中包括绕组匝间耐电压试验、对地和相间的绝缘电阻测量及耐交流电压试验。

匝间耐电压试验应该分别对每个线圈进行；绝缘电阻测量和耐电压试验应用导线将线圈按图纸规定临时连成单个相后进行。试验电压值可在成品试验值的基础上适当降低，但一般不低于85%。

6.8.5 端部接线工艺

由于成型绕组是单个绝缘线圈，所以接线工作量相对较大。一般采用气焊的方法，如图6-24所示。首先将每一极相组的线圈连接在一起，根据具体要求，可连接成过桥式或并接式，焊后按要求包绕绝缘并进行形状整理。图6-25是采用并接方式焊接包扎绝缘后，用钳子将其扳弯贴在绕组端部的操作图。



图6-24 成型绕组端部连线气焊操作图



图6-25 线端并接后用钳子扳弯贴在端部

每相各极相组之间的连接应使用与绕组相同的导线和绝缘；引出线应使用规定截面积和电压等级的电缆。均采用气焊法。应牢固绑扎在绕组端部(可使用与端箍同材料和绝缘的辅助环)。图6-26是一台高压电动机的端部接线实例。

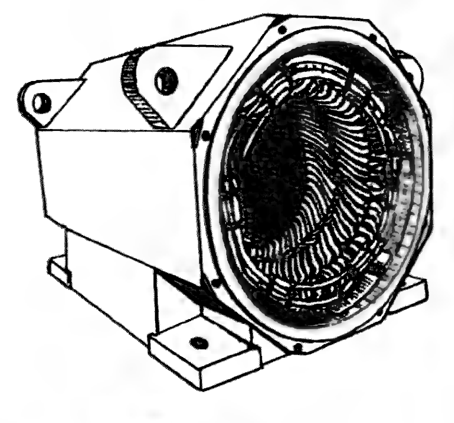


图6-26 高压电机端部接线实例

6.9 定子嵌线后浸漆前的检查和试验

定子在嵌线、接线和端部包扎完成后的工序是浸漆和烘干。但是进入到这些工序之前,应对定子进行下列必要的检查和试验,以发现和找出因所用材料不良或操作不当而造成的缺陷,并设法处理解决。否则,待浸漆烘干固化后再发现故障时,则很难处理,甚至因不能处理而要花大力气拆除刚刚嵌入的绕组,造成材料和人工的浪费(包括定子铁心等)。

6.9.1 外观和尺寸检查

(1) 绕组端部应整齐、包扎牢固、无硬折弯的过线,无露铜。

(2) 用钢卷尺测量端部的轴向长度、内圆直径最小值和外圆直径最大值。端部内圆直径最小值应大于定子铁心内圆;端部轴向长度和外圆直径最大值应保证与机壳(机座或端盖)内壁有足够的绝缘距离。

6.9.2 测量绕组的直流电阻

用电阻电桥或数字电阻测量仪进行测量。尽可能测量每一相的直流电阻值,同时测量环境温度,如图 6-27a 所示。

三相直流电阻的不平衡度应不超过±3%;数值大小与标准值(生产单位提供的或修理前测量没有损坏的绕组数值,也可使用同一厂家的同规格正常产品数值)相差应不超过标准值的±3%(应注意折算到同一温度)。

当测量数值有不允许的偏差时,可能的原因有:

(1) 中间连线不实,即有虚接处;

(2) 一匝多股的绕组,接线时有的线股未接上或中间有断股现象,如图 6-27b 所示;

(3) 导线粗细不均或电阻率有少量差异(偏差的数值较小);

(4) 匝数多少有误;

(5) 实测值与正常值成倍数的关系,则说明接线时的并联支路数出现了错误,例如将 2 路并联接成了 1 路串联,则实测值将是正常值的 4 倍,如图 6-27c 所示。

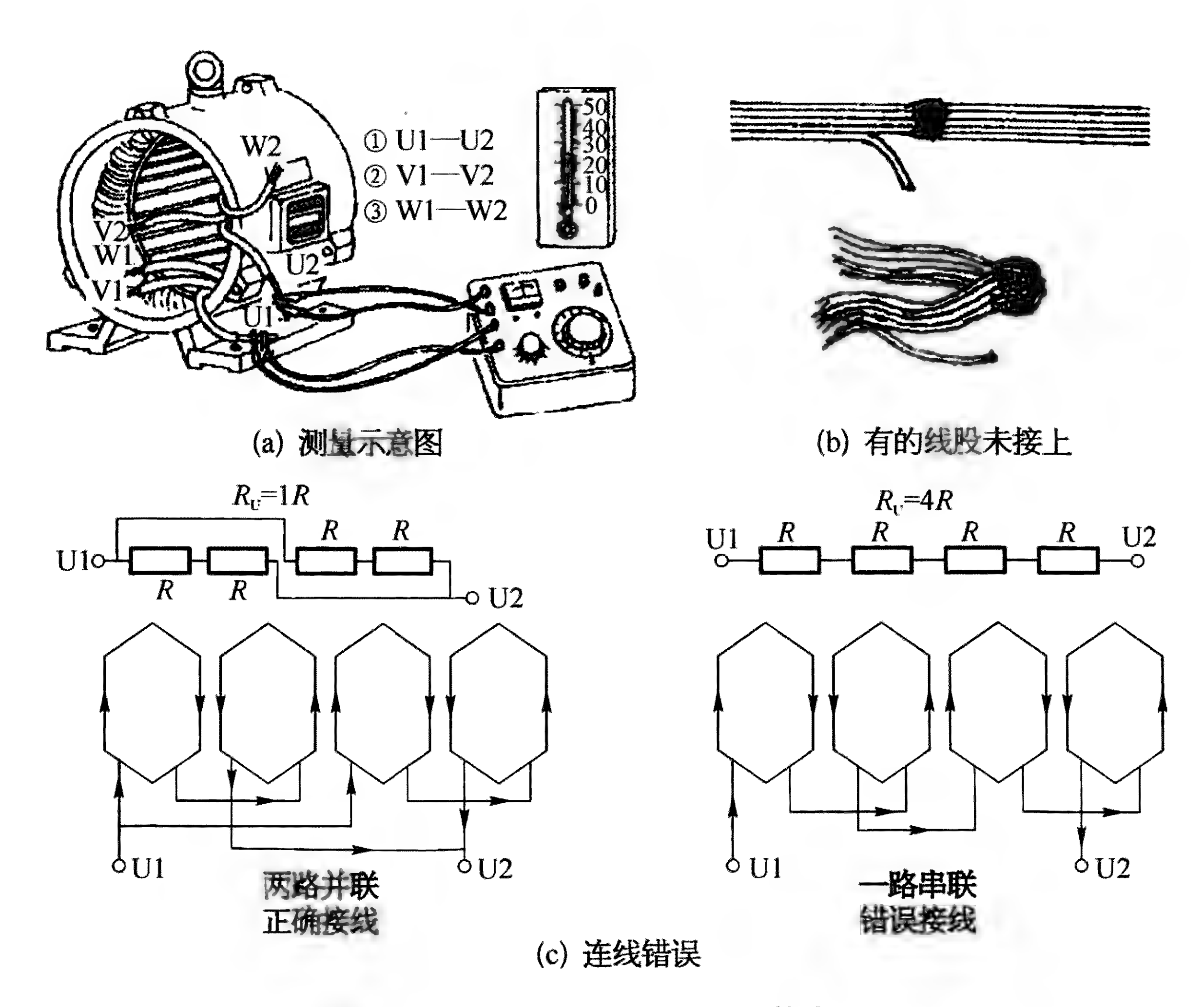


图 6-27 绕组直流电阻的测量和故障原因

6.9.3 测量热传感元件和防潮加热带的电阻

1. 埋置的热传感元件

使用万用表的×1 Ω挡（对于数字式万用表应使用 200 Ω左右的量程）。对与温度有线性关系的元件，应同时测量环境温度。一般要求测量时所加电压不应大于 2.5 V。

所得电阻值应在该产品样本或说明书给出的范围之内。

2. 防潮加热带

为了避免绕组受潮影响正常工作，有些在特殊环境下使用的电动机，采用一种专用的防潮加热带，或称为空间加热带，如图 6-28 所示。绕组嵌线后，在绑扎端部时将其包裹在绕组端部位置。其两条引出线连接在电机接线盒内的专用端子上。该加热带用交流工频 220 V 或 380 V 供电。确认其是否正常的方法是用万用表电阻挡测量它的直流电阻。其正常阻值 $R(\Omega)$与其额定功率 P(W)和额定电压 U(V)有关，应符合式 $R=U^2/P$ 计算所得到的数值，容差一般规定为±10%。



(a) BQ型中小低压电机防潮加热带



(b) HBQ型高压电机防潮加热带

图 6-28 防潮加热带

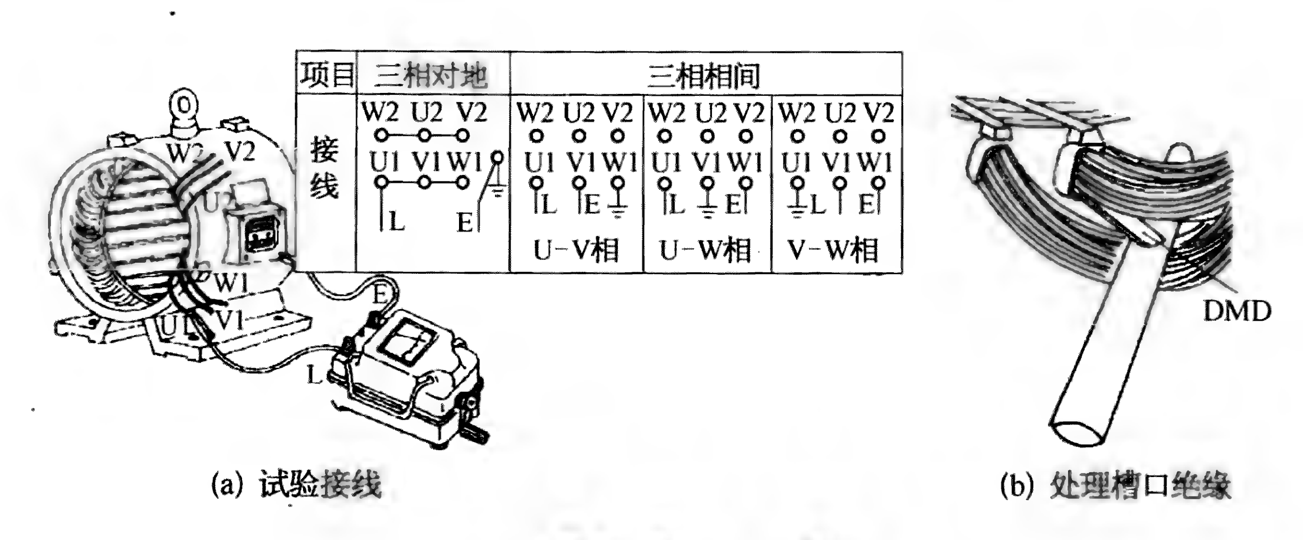
例如：额定功率 $P=45$ W，额定电压 $U=220$ V。则其电阻值 $R=(U^2/P)\times(0.9\sim1.1)=(220^2/45)\times(0.9\sim1.1)=968\sim1\ 183\ \Omega$ 之间。

6.9.4 绝缘性能检查和故障处理方法

1. 绝缘电阻

绝缘电阻检查包括绕组对机壳、各相绕组之间、在绕组中埋置的热敏元件、设置的空间加热带等与机壳和各相绕组之间的绝缘电阻。

低压电机选用 500 V 规格的绝缘电阻表。应分别测量三相对地和各相之间的绝缘电阻（当三相的头尾六个线端都引出时），接线如图 6-29a 所示。



(a) 试验接线

(b) 处理槽口绝缘

图 6-29 测量绝缘电阻和绝缘处理

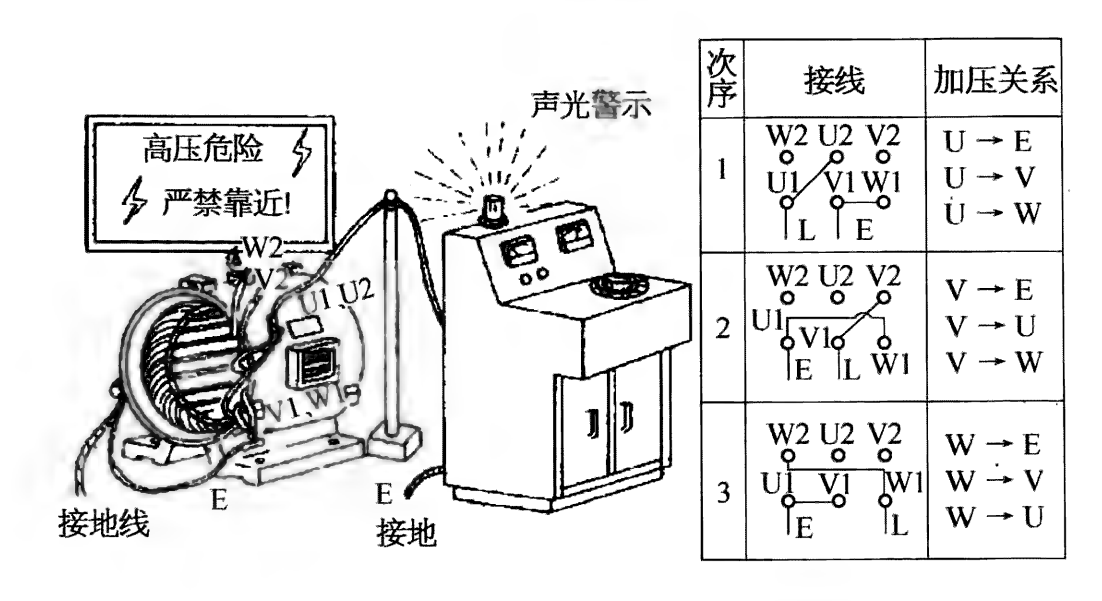
对于低压电机，绝缘电阻应在 5 MΩ 以上；高压电机应不低于 50 MΩ。若绝缘电阻值为零，对地短路者发生在槽口处的较多，相间短路者多

发生在端部。槽口发生对地短路时，可用划线板撬起导线，将一片绝缘纸插入槽内，如图 6－30b 所示。当相间发生短路时，可更换相间绝缘。

绝缘电阻较低的主要有两方面的原因。一个是绕组及绝缘材料受潮，可烘干后再测试，如有所提高并达到理想值，则认为合格；二是部分绝缘性能不良或有轻微损伤，应拆开各相连线后，逐段查找，查出后更换绝缘。

2. 对地和相间耐电压

耐电压试验是绕组介电强度试验的俗称，又称为打耐压，一般指耐工频正弦交流电压试验。试验设备及其使用方法见第 3 章 3.2.8。对低压电机浸漆前的试验接线见图 6－30 给出的示意图，其中接线端子 L 为仪器高压输出端，E 为仪器输出接地端。需改变接线进行 3 次试验，才能将每相之间和各相对地的耐压试验完。



次序	接线	加压关系
1	W2 U2 V2 / U1 V1 W1 / L E	U → E U → V U → W
2	W2 U2 V2 / U1 V1 / E L W1	V → E V → U V → W
3	W2 U2 V2 / U1 V1 W1 / E L	W → E W → V W → U

图 6－30　耐交流电压试验和接线示意图

每次操作时，电压均应从 0 V 开始，在 10s 左右的时间内将电压升至要求值并保持 1 min 后，再逐渐下调到 0 V。

试验完毕时，应先将绕组对地放电后再拆线。

对于一般低压电机，加压值按下式求得，但不应低于 2 000 V，其他电机（例如高压电机）另有规定的，按专门规定。

$$U_G=(2U_N+1\,500) \tag{6-1}$$

式中　U_N——电机额定电压，对于多电压的，取其最高值。

例如，U_N=380 V，则 U_G=2×380+1 500=2 260 V；U_N=380/660 V，则 U_G=2×660+1 500=2 820 V。

对部分更换绕组的定子或第二次试验时，应取上式计算值的 80%。

试验中不发生击穿即为合格。

3. 匝间耐冲击电压

所用仪器及使用方法和接线见第 3 章 3.2.6。试验电压和试验结果分析判定见第 3 章 3.3.3 第 2 项。

一般情况下，在端部的击穿点可发出明显的“啪”、“啪”声，甚至可看到蓝色的放电火花。若上述现象不明显，可通过一根绝缘杆测听，如图 6-31a 所示。若声音仍较小，可适当提高电压，以得到较大的声音。



(a) 测听匝间放电声　　(b) 处理端部匝间绝缘

图 6-31　查找击穿部位和进行补救

当查找到绝缘损伤的部位后，对于绕组端部，可插入一片绝缘纸进行隔离，如图 6-31b 所示。若短路点在槽内，则应将该槽内线圈起出后进行处理或更换新线圈。

6.9.5　三相电流平衡情况的检查

如没有上述匝间耐冲击电压试验的条件，可通过三相电流平衡性检查，发现与三相绕组匝数不等、匝间短路（比较严重的）、相间短路、线圈头尾反接等故障。

试验所用的试验设备电路接线如图 6-32 所示。其中 T 为三相感应调压器，若被试电机较小时，也可使用自耦调压器等。

将电机定子三相绕组接成Y形或△形（只有已接成△接的电机才用此接法），通入三相交流电。调节输入电压，使电流在额定值左右。

在三相电压平衡的情况下，三相电流的不平衡度 ΔI(%)不应超过 ±3%，若较大，则可能存在与三相绕组不平衡有关的故障；电压过高或过

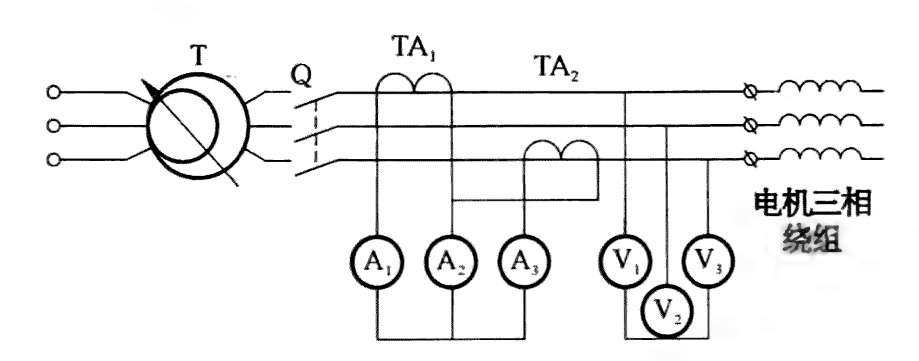


图 6-32 三相电流不平衡度试验线路

低，说明可能存在接线错误，此时直流电阻的大小也可能会不正常。

6.9.6 对出线相序或磁场旋转方向的检查

当对电机的相序或旋转方向有明确要求时，应检查其是否正确，可采用假转子法或钢珠法。事先应确定电源的相序。在试验时，定子应通过调压器或其他设备提供较低的电压。

1. 假转子法

将一个微型轴承装在一根木棒或塑料棒的一端，或在易拉罐等圆柱形金属盒两端中心各打一个孔，用一根圆棍穿过两孔做轴，做成一个假转子。如图 6-33a 所示。

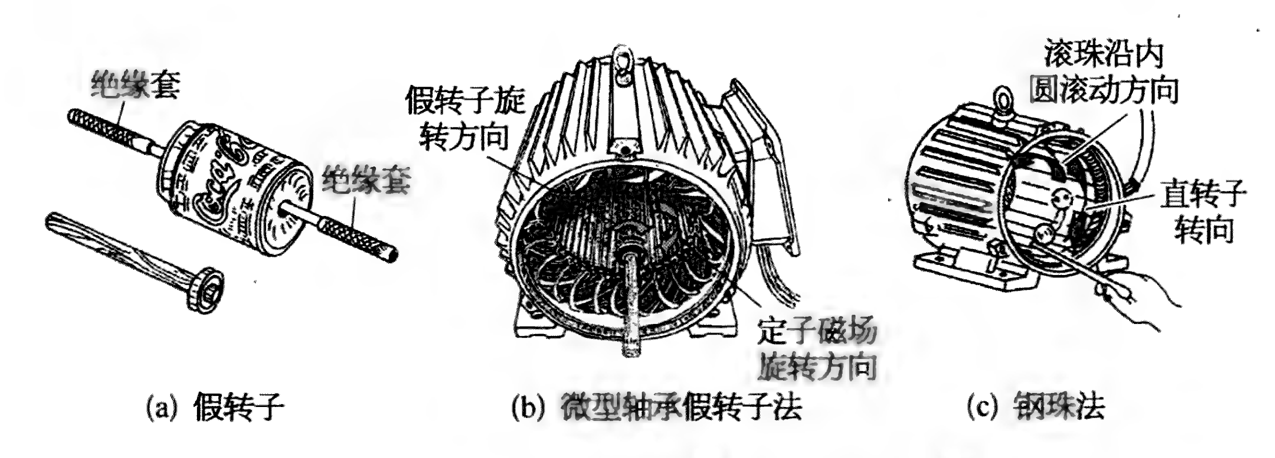


图 6-33 用假转子或钢珠检查相序和接线的正确性

将假转子放入定子内膛中，如图 6-34b 所示。给定子通较低电压的三相交流电（以电流不超过被试电机额定值的 1.2 倍为准）。

若该假转子能顺利起动（可用工具拨动它一下，帮助它起动）并旋转起来，则它的旋转方向即为将来真转子的旋转方向。由此可判定该定子三相出线相序是否正确。

若不能起动，可略提高电压，若仍不起动，或抖动而不转动，则说明定子接线有错误。

2. 钢珠法

用一个 ϕ10 mm 左右的废轴承钢珠，放入定子内膛中。定子通入三相交流电后，用工具拨动钢珠，若它能紧贴定子内圆旋转起来，则说明三相绕组接线是正确的(但不能判定支路数是否正确)，**它在圆周上旋转的反方向是将来电机转子的正方向，此点应给予注意。**如图 6-34c 所示。

若不能起动，可略提高电压，若仍不起动，或抖动而不转动，或拨动钢珠旋转一段弧度后就停下来，则说明定子接线有错误。

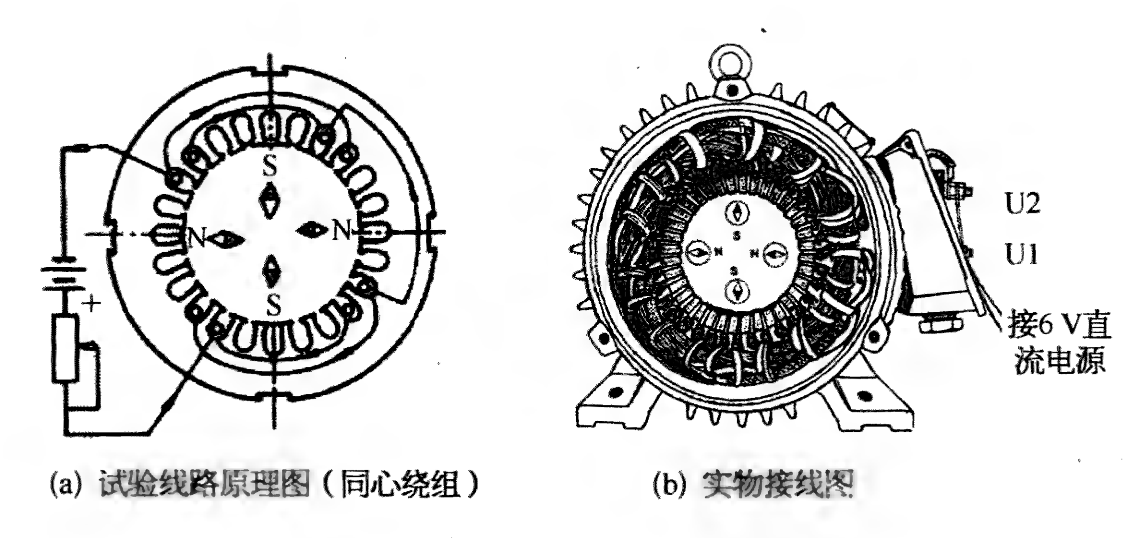
本方法所需电压比前一种要高，所以应注意防止电机过热。

通过分析可知，此方法实际上也属于"假转子"法。

6.9.7 用指南针检查头尾接线和极数的正确性

用 6 V 或 12 V 蓄电池或几节干电池串联作为直流电源。将一相绕组的头接正极，尾接负极，应控制电流不要超过电机的额定值(只要指南针能正确指示即可)。

将电机立式摆放。手拿指南针沿定子内圆走一周。如果其指针经过各极相组时方向交替变化，表明接线正确，变化的次数即为该电机的极数，如图 6-34 所示为 4 极电机；如果指针方向不改变，则说明该极相组头尾接错；如果在一个极相组内指针方向交替变化，则说明该组内有线圈头尾反接现象。



(a) 试验线路原理图(同心绕组)　　(b) 实物接线图

图 6-34 用指南针检查接线和极数的方法

7　绕线转子硬绕组的修理和制作

7.1　绕线转子绕组简介

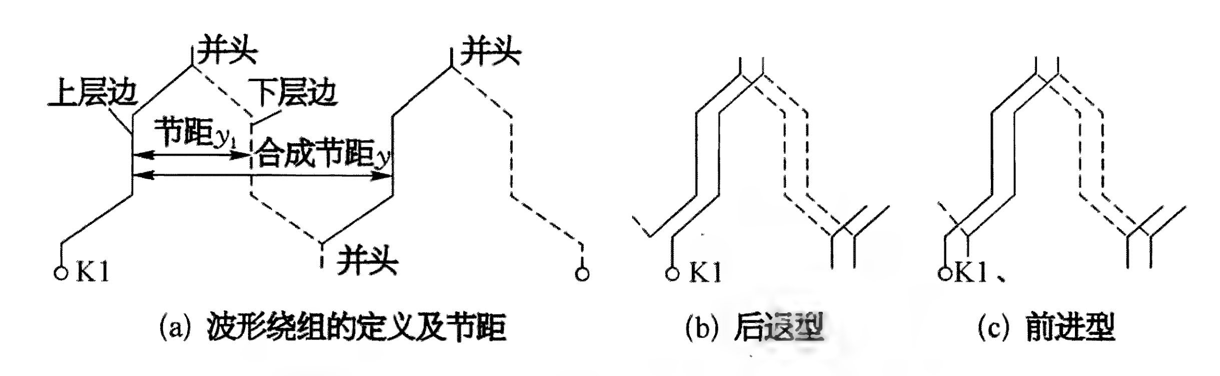
7.1.1　绕线转子绕组的分类

绕线转子绕组大体上可分两大类，一类是双层迭式短距散嵌绕组，较小容量采用圆漆包线，较大容量(机座号 200 及以上)采用漆包或涤包、丝包等扁铜线；另一类是双层波式成形绕组，采用包绕两层绝缘的扁铜排，主要用在中、大型电机上。前一种的制作、嵌线及接线工艺与普通电机定子同类绕组基本相同；后一种则有其很多的独特之处。

7.1.2　波形绕组的类型和参数

1. 波绕组的类型

波形绕组(简称为波绕组)的命名是因为一相绕组一路串联线圈的展开图犹如一排有起有伏的波浪。如图 7－1a 所示。



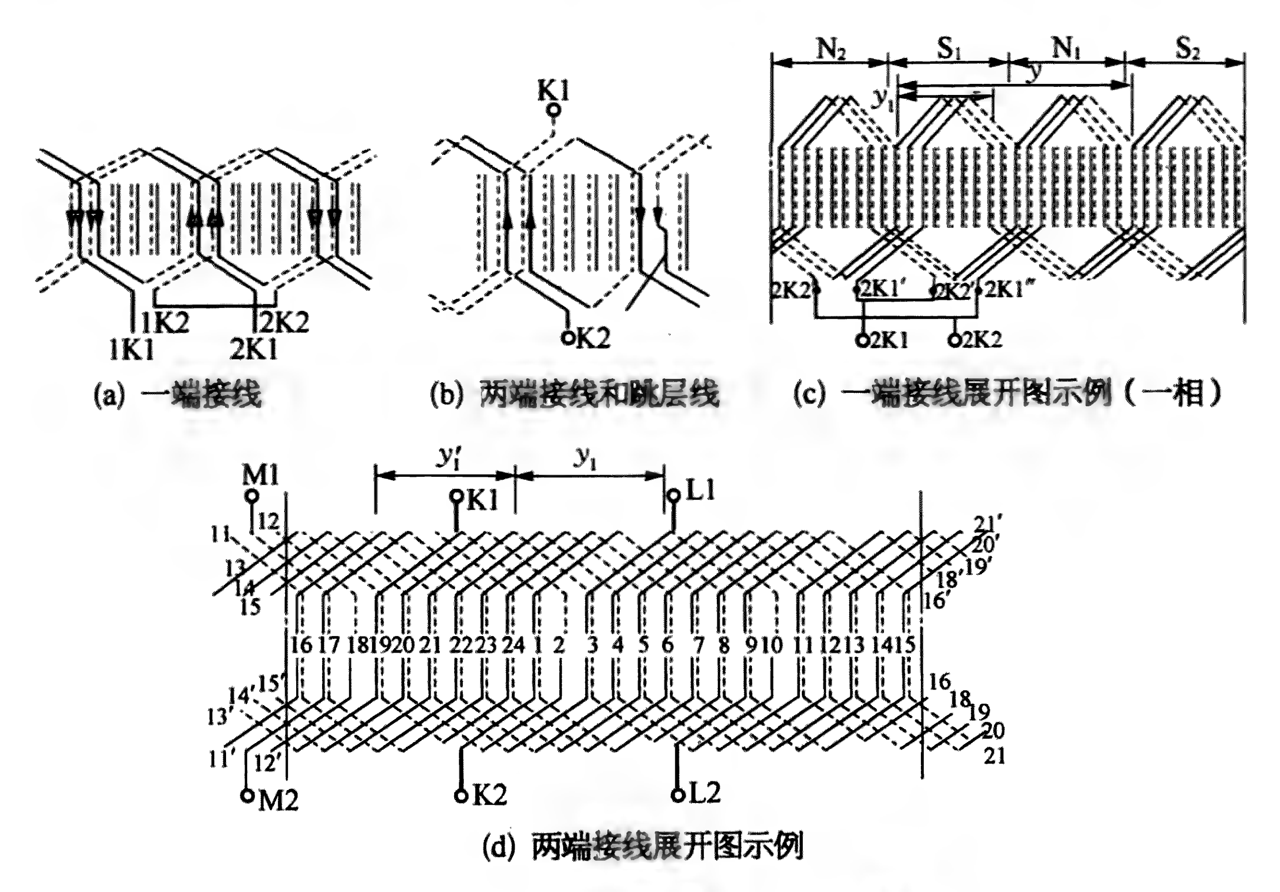
(a) 波形绕组的定义及节距　(b) 后退型　(c) 前进型

图 7－1　绕线转子波形绕组的型式和节距定义

当一相绕组的第一条边所占槽确定以后，如绕转子一周后，再开始的第一条边在上述第一条边的左边(以前进方向而言，相对于在上述第一条边的后边)，则称为后退型，如图 7－1b 所示，也称为短距型。应用较多。

当一相绕组的第一条边所占槽确定以后，如绕转子一周后，再开始的第一条边在上述第一条边的右边(以前进方向而言，相对于在上述第一条边的前边)，则称为前进型，或称为长距型，如图 7－1c 所示。

三相绕组一般为星(Y)接法。根据三条引出线和三条封零线所处位置,分一端接线型(引出线和封零线都在转子集电环一端,如图 7-2a 所示)和两端接线型(三相引出接线在转子集电环一端,三相封零点端在另一端,如图 7-2b 所示)。



(a) 一端接线　(b) 两端接线和跳层线　(c) 一端接线展开图示例(一相)

(d) 两端接线展开图示例

图 7-2　绕线转子波形绕组接线方式和展开图

2. 绕线转子波形绕组的参数和展开图

绕线转子波形绕组的参数与定子绕组有些不同,下面介绍其主要部分。

(1) 合成节距。波形绕组有一个与普通绕组线圈完全不同定义的节距,即合成节距,它是一相绕组中相对应边间的距离(槽数),如图 7-1a 所示的 y。实际上,它即为 2 个极距(两端接线者有所不同),即 $y=2\tau=Z_2/p$(Z_2为转子的槽数,p 为电机的极对数)。

(2) 对边节距。一相绕线两个相对边之间的距离(槽数),如图 7-1a 所示的 y_1,一般情况下,$y_1\leqslant\tau$(τ 为转子极距)。

(3) 一端接线绕组的节距。对边节距 y_1 一般$<\tau$,即短距。

(4) 两端接线绕组的节距。这种绕线有两个不等的 y_1,我们把其中较长的用 y_1表示,较短的用 y'_1来表示。一般情况下,$y_1=\tau$,即等距,而 $y'_1=y_1-1$。由 y'_1形成的合成节距 y 则小于 2τ。每一相中有一条跳层

线(一条线圈边的一半在槽的上层,另一半在槽的下层,空着的两个半层槽用木条填充)。

(5) 两端接线型式的,一般均为一路串联;一端接线型式的,可视情况设计为一路串联或多路并联接线。

(6) 绕线转子绕组的相数和极数必须与定子相同。

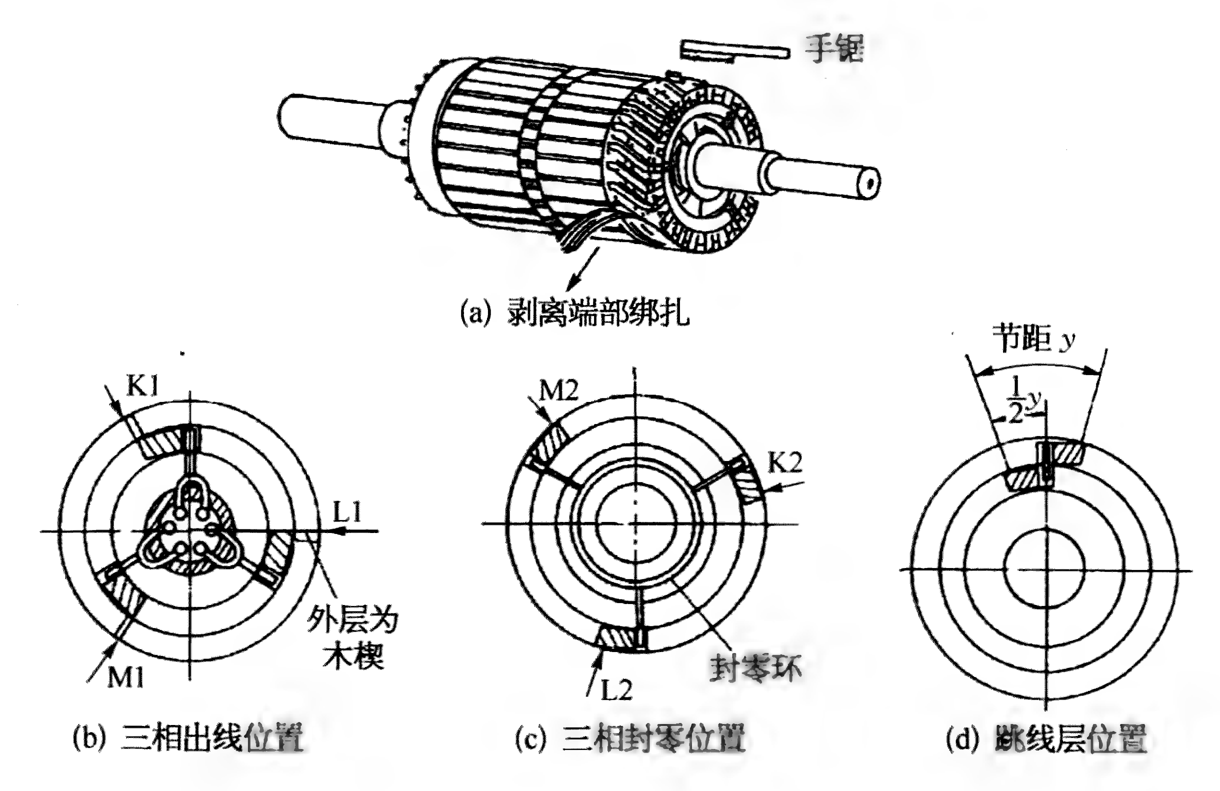
图 7-2c 为一个 4 极、36 槽、$y_1=7$、$y=36/2=18$、支路数 $a=2$、一端接线的波绕组一相展开图。图 7-2d 为一个 4 极、24 槽、$y_1=6=\tau$、$y'_1=y_1-1=5$、支路数 $a=1$、两端接线的波形绕组三相展开图。图中两边所标数字为与线相接的另一根线棒所在槽号,数字带“′”的为下层,不带“′”的为上层。另外,出于从力学等方面考虑,引出线 U1、V1、W1 一般设置在下层,封零线设置在上层。

从图 7-2d 中可以看出,每相有 1 个小节距 y'_1 和 1 条跳层线。

7.2 绕线转子硬绕组的拆除

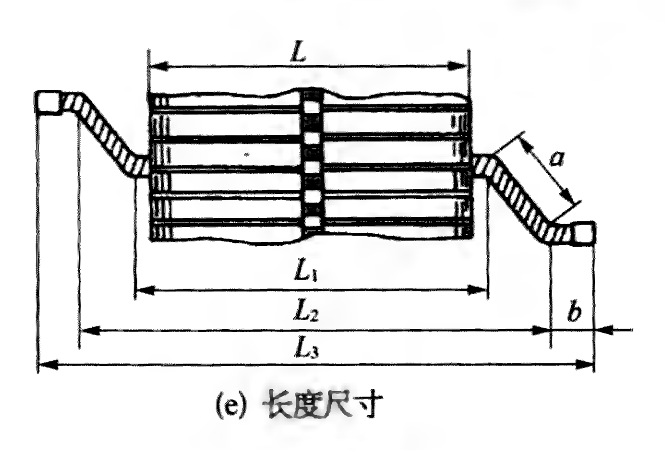
7.2.1 拆除前应做的工作

对绕线转子,其两端具有绑扎带。无论是全部还是局部拆除绕组,都要先拆下两端全部绑扎带。可用手锯将绑扎带锯开几个口子,然后将其剥下,如图 7-3a 所示。



(a) 剥离端部绑扎

(b) 三相出线位置　(c) 三相封零位置　(d) 跳线层位置



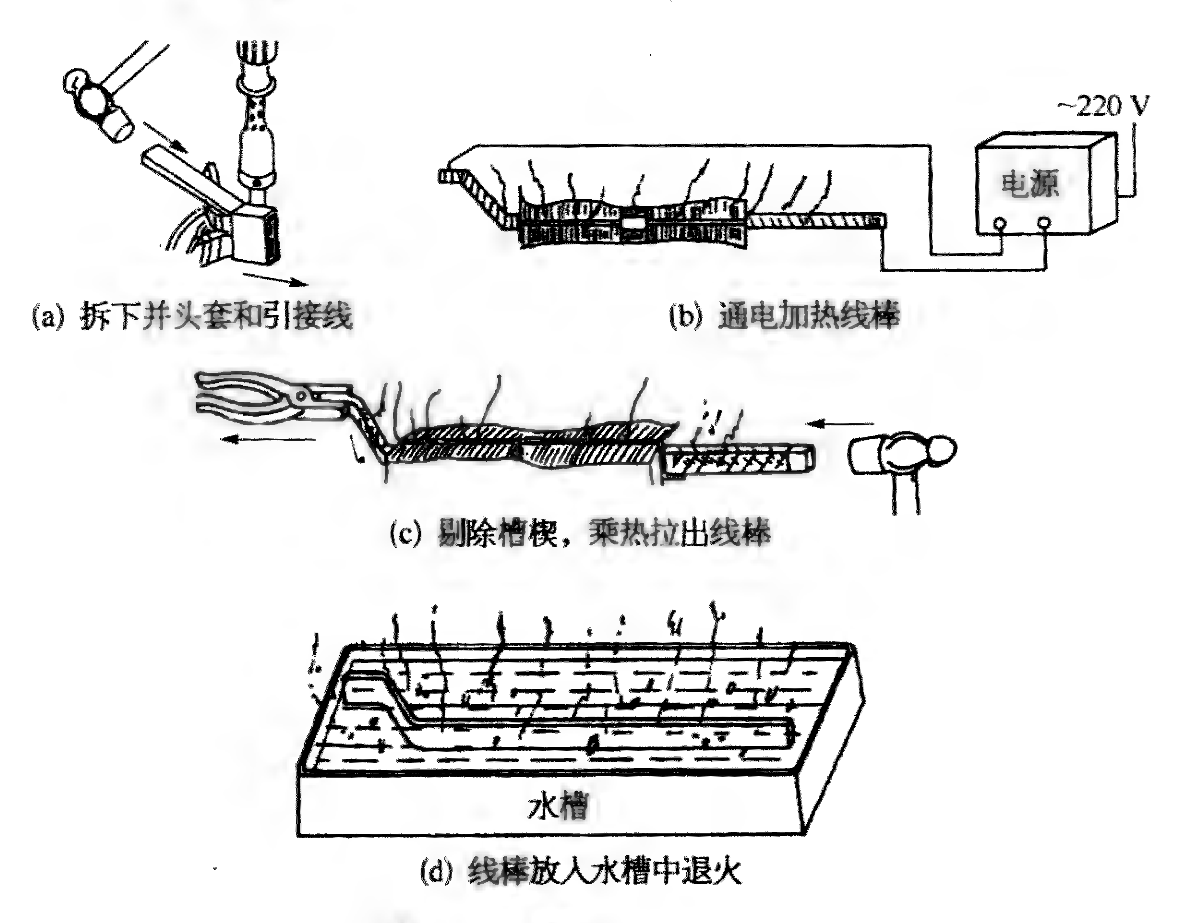
(e) 长度尺寸

图 7-3 剥开端部绑扎和记录相关数据

在拆除绕组之前，要记录引出线及封零线、跳层线所(如有时)在槽的位置、节距值(注意两端出线者有两个节距)、半支线圈的各部位长度等有关数据，如图 7-3b～图 7-3e 所示。

7.2.2 拆除步骤

(1) 根据要拆除线圈的具体情况，拆下相关的并头套和引接线。拆除时，可用大功率电烙铁加热或用气焊、喷灯火焰加热，使并头套内的锡熔化，再用榔头敲击，使其退下，如图 7-4a 所示。



(a) 拆下并头套和引接线 (b) 通电加热线棒

(c) 剔除槽楔，乘热拉出线棒

(d) 线棒放入水槽中退火

图 7-4 拆除转子硬绕组的过程

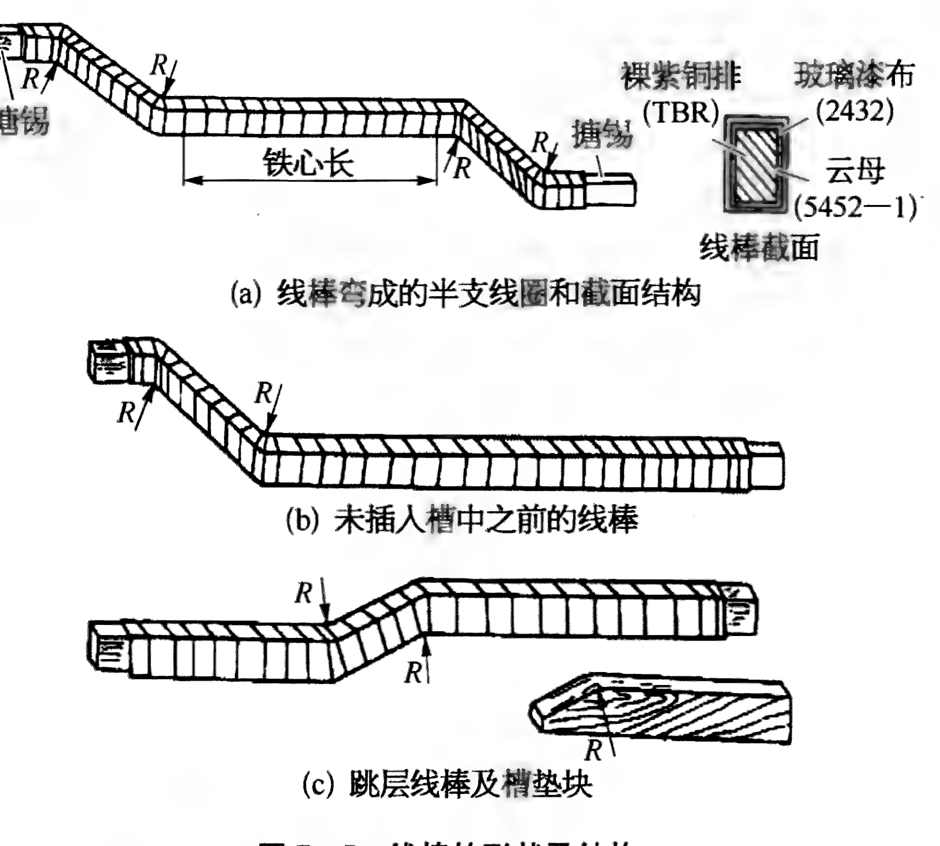
(2) 当只需拆下少数绕组线棒时，可先从一端从槽口处切断，再通入一个低电压大电流给其加热，至槽内绝缘软化，如图 7-4b 所示。当需拆除全部绕组时，可采用电炉烘烤等方法进行加热。

(3) 剔除槽楔，乘热拉出线棒，如图 7-4c 所示。

(4) 将利用加热方式拉出的有用线棒尽快投入水中，使其退火，如图 7-4d 所示。否则，线棒会变硬而不利于再次使用(扳弯处易折裂)。

7.3 转子波形绕组的制作

波形绕组一根线棒的形状如图 7-5a 所示，实为半只线圈。其横截面如图 7-5a 右图所示。它由经真空退火处理的裸紫铜排(TBR)外包一层 0.13×25 云母(5452—1)和一层 0.15×25 玻璃漆布(2432)组成。其中云母为半叠包，漆布带为平包。



(a) 线棒弯成的半支线圈和截面结构

(b) 未插入槽中之前的线棒

(c) 跳层线棒及槽垫块

图 7-5　线棒的形状及结构

包绝缘之前，线棒两端应搪锡并弯成图 7-5b 所示的形状，有关尺寸按拆下旧线棒时所记录的数据。每台 3 根跳层线棒，如图 7-5c 所示。每根跳层线均要配 1 对木质槽垫块(称为木楔。该木楔最好用变压器油煮一下，木质应较软，可采用多层胶合板裁制)，用于填充空出的半个槽，以

免线棒松动。

制作上述线棒时，应用专用工具，要保证各部位的尺寸，弯角处应有足够的弧度 R。R 过小则有可能造成断裂。绝缘应包严密。

7.4 波形绕组的槽绝缘结构

不同绝缘耐热等级的绕线转子槽绝缘结构也会有所不同。图 7-6 为一个绝缘耐热等级为 B 级的硬绕组转子嵌线并嵌入槽后的截面结构，其中：槽楔为 3240 玻璃布板；槽绝缘结构为内层为 0.25 mm 厚 DM，外层为 0.1 mm 厚 M；层间垫条和槽底垫条为 0.5 mm 厚的 3230 玻璃布板。

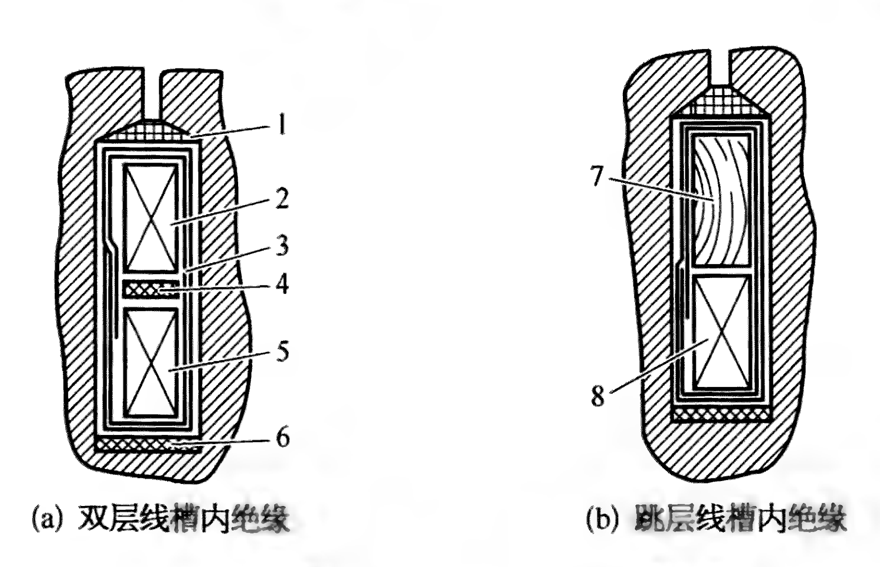


图 7-6 B 级绝缘绕线转子的波形绕组的槽绝缘结构

1—槽楔；2—上层线棒；3—槽绝缘；4—层间垫条；
5—下层线棒；6—槽底垫条；7—槽垫块；8—跳层线棒(下层)

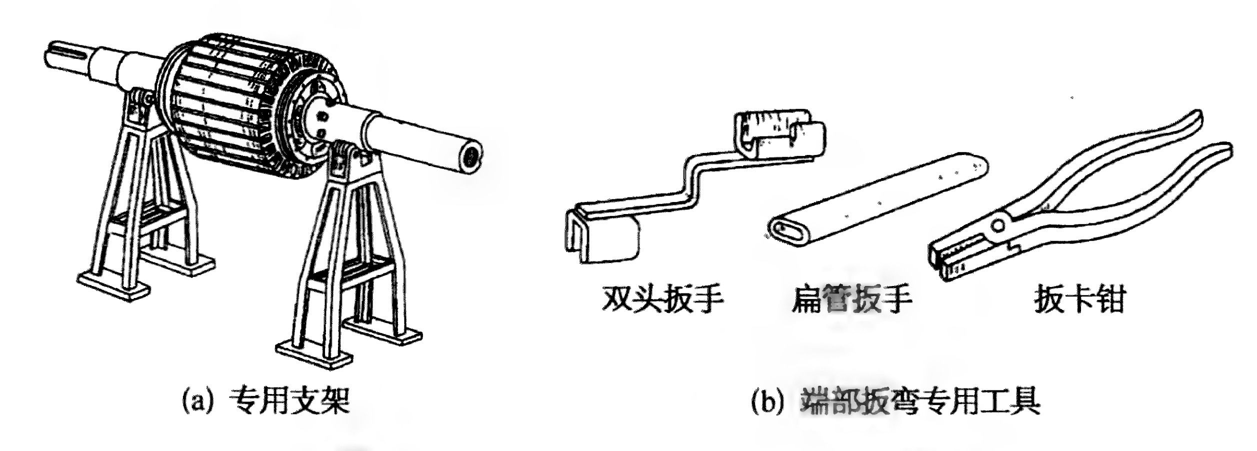
7.5 用于转子硬绕组嵌线和接线的专用工具

用于绕线转子硬绕组嵌线和接线的专用工具一般是自行制作。图 7-7 给出了一些常用的品种，其尺寸要视要嵌线的线棒参数而定。

(1) 转子支架。用于支撑转子，转子在其上可较灵活地转动，这样会给嵌线工作带来很大的方便。支架高度在 1 m 左右，滚轮(杆)采用黄铜或钢芯轴的尼龙材料制作。

(2) 双头扳手。用于弯折线棒的端部，用扁铁掀制和焊接而成。

(3) 扁管扳手。用于弯折线棒的端部，将钢管均匀地砸扁而成。



(a) 专用支架　　(b) 端部扳弯专用工具

图 7-7　绕线转子嵌线接线专用支架和工具

(4) 扳卡钳。用于直接或辅助弯折线棒的端部，也用于夹持线棒端部进行并头套的安装等工作。

(5) 专用并头套卡钳。用于将并头套中间空档部位卡紧的专用工具。

7.6　转子波形绕组的嵌线和接线过程

以两端出线波绕组为例，其嵌线及设置相关绝缘的全过程见表 7-1。

表 7-1　两端出线波绕组嵌线及设置相关绝缘的全过程

顺序和名称	过程描述和注意事项	示　图
1. 包扎线端支架绝缘	① 用 0.2 mm 厚 25 mm 宽(以下简写成 0.2×25，其他材料也如此表示)的白布带压包在两端的线端支架凹槽内 2～3 层	白布带 0.2×25
	② 逐一将裁好的 0.2 mm 厚玻璃布板、0.2 mm 厚的云母板压在白布带下，包绕在支架上。玻璃布板及云母板的宽度应略大于支架的宽度，长度应略大于支架的周长(以达到能自己头尾对接为准)	玻璃布板0.2 云母板0.2 白布带0.2
	③ 将白布带从支架孔中穿过，锁 3 个十字扣，最后锁紧	

（续表）

顺序和名称	过程描述和注意事项	示图
2. 安放槽底垫条和槽绝缘	① 将槽底垫条顺槽口放下，当它掉到槽底时会自然地平过来贴于槽底面	
	② 将槽绝缘卷成筒状，用一片绝缘薄膜包在头部，用手捏住并捏扁。将槽绝缘推入槽中 ③ 整理槽底垫条及槽绝缘，使两端伸出槽口的尺寸相同	
3. 插入下层线棒	从非集电环端插入下层线棒。为使线棒插入较顺畅，可事先在线棒前半段涂少许中性润滑脂（凡士林）。注意留出跳层线所占用的 3 个槽	
4. 包扎一端层间绝缘	先将线棒为直线的一端用白布带扎紧，再用与包扎第一层端部绝缘相同的材料和方法包扎原已弯成形线棒端的层间绝缘	
5. 插入跳层线棒	从已包好层间绝缘的一端插入 3 根跳层线。在第 4 步最后可将白布带锁在一根跳层线棒上。将跳层线棒两端伸出尺寸调匀后，打入槽垫块，使其固定	

（续表）

顺序和名称	过程描述和注意事项	示　图
6. 下层线端部扳弯成形	① 用专用扳弯工具扳第一道弯。注意方向、角度和根部尺寸。扳动时，要均匀施力。第一道弯全部扳完后，用木板拍打，使其平贴在支架绝缘上	
	② 用专用工具扳第二道弯。扳完后，线端（未包绝缘部分）轴向应和电机轴向平行	或
7. 包扎另一端层间绝缘	用与前面同样的材料和方法包扎刚刚扳弯成规定形状一端的层间绝缘	跳层线
8. 放槽内层间垫片	逐槽放入层间垫片。放后整理，使其两端伸出长度相等	槽内层间绝缘
9. 插入上层线棒和槽楔端部扳弯	将上层线棒全部插入后，将槽楔逐一插入。然后扳弯使端部成形。放大图给出了到此阶段时的端部材料层次	槽楔 上层边 下层边 白布带(0.2×25) 玻璃布板(0.2) 云母板(0.2) 玻璃布板(0.2) 白布带(0.2×25) 端部支架 铁心 轴
10. 装并头套和打入铜楔	① 将上层对应端对齐并装上并头套（用铜板制作并搪锡）。将事先搪锡的铜楔打入上、下层的空隙中。铜楔的厚度应适当，做到既不松动，又不会撑开并头套 ② 用专用卡钳夹卡铜楔部位，使并头套凹入，进一步固定铜楔	铜楔（事先搪锡） 并头套（铜、搪锡）

（续表）

顺序和名称	过程描述和注意事项	示　图
11. 并头套灌锡和绝缘	用大功率电烙铁给并头套加热，将锡焊条抵在并头套端面或内面，向里面灌锡至填满并头套内所有空隙。有条件时，应采用整体涮锡工艺	大功率电烙铁 焊锡条
12. 并头套进行绝缘处理	并头套灌锡后，应对每个并头套进行绝缘处理，以防止运行时在两个相邻并头套之间进入导电异物后造成短路故障。绝缘处理可用套绝缘套管（要有一定的紧度）、热缩管、包绕绝缘漆布等方法	

7.7 用无纬带绑扎转子波形绕组的端部

无纬带是树脂浸渍玻璃纤维无纬绑扎带的简称，也俗称玻璃钢。本材料应在低于 5℃的环境下存放，随用随取。

绑扎前，应将转子在烘箱中放置 2 h 左右，热分级为 130(B 级)和 155(F 级)的无纬带，温度为 80～100℃，热分级为 180(H 级)的无纬带，温度为 120～140℃。若采用涮锡工艺，可在涮锡后立即进行绑扎。绑扎时，转子温度不应低于 50℃。

用木槌沿转子绕组端部外圆将其敲平整。

用机床或人力旋动转子，应控制对无纬带的拉力(计算数值与无纬带的宽度有关，应不超过 400 N/10 mm，一般在 300 N/10 mm 左右即可)，半叠包、平包和两者结合包绕 6～8 层。要求平整，应尽可能宽。

绑扎到最后一层时，保持拉力，用电烙铁将无纬带末端烫 1～2 min，将其与下层的无纬带“粘”牢。

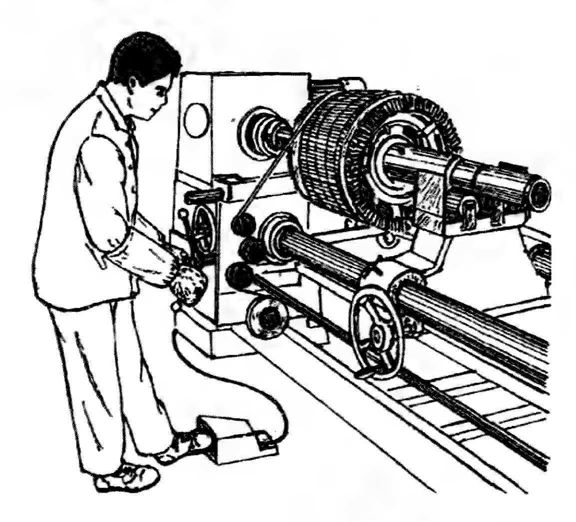


图 7-8　用专用机床缠绕无纬带包扎绕组端部

图 7-8 是用专用机床绑扎无纬

带的操作现场。

绑扎后，应在两天时间内，将转子在烘箱内烘烤(若对转子进行浸漆，可不进行此项)，其温度和时间见表 7-2。

表 7-2 无纬带烘烤温度和时间

无纬带热分级	130(B)		155(F)		180(C)	
工艺参数	温度(℃)	时间(h)	温度(℃)	时间(h)	温度(℃)	时间(h)
	80～90	4	100～110	4	130～140	4
	130	10	155	10	200	8



图 7-9 是一台嵌线后还未接出引出线的转子。

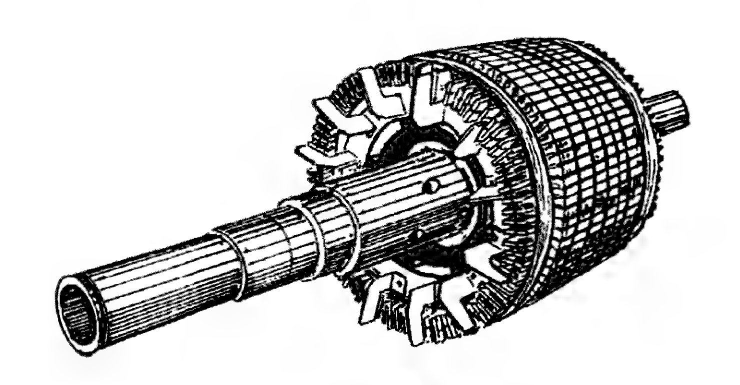


图 7-9 嵌线后的硬绕组绕线转子

7.8 转子引出线穿出转子轴孔的工艺

将绕线转子绕组的三相引出线穿出转轴的中心孔后，引出线与轴孔接触部位的空隙，应用涤棉毡塞紧，再灌入环氧树脂固化。如图 7-10 所示。也可采用其他工艺，但必须保证引线不会松动，否则很可能在电机运转时，因松动造成与转子孔摩擦，最后使绝缘破坏而对轴短路。

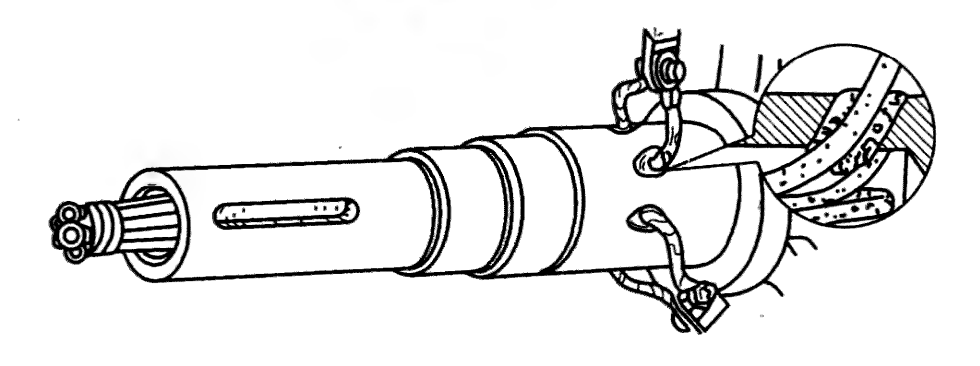


图 7-10 转子引出线入口处的处理方法

7.9 对嵌线后转子的检查

应对嵌线后的转子进行如下检查：

(1) 线棒绝缘及槽绝缘有无破损。

(2) 出线、封零槽号是否正确。

(3) 各并头套之间距离是否均匀，有无过近或短路现象，安装是否牢固，套间空隙是否用锡全部灌满。

(4) 端部绑扎是否牢固，外圆最大直径是否超过了铁心外圆。

(5) 用兆欧表测量各相对地(铁心和轴)及相互间的绝缘电阻(此时应不封零)。低压电机应在 5 MΩ 以上。

(6) 用电桥或微欧计测量各相的直流电阻。值的大小与原绕组的偏差应在±2%之内；三相不平衡度不应超过±3%。

(7) 对每相对地及相间进行历时 1 min 的耐电压试验。电压值：全新绕组为 $2U_{2K}+2\,000$，局部更换绕组为 $0.8(2U_{2K}+2\,000)$，其中 U_{2K} 为转子额定开路电压。

(8) 用专用仪器进行匝间耐冲击电压试验。

(9) 穿出引接线后的检查包括：接线连接点是否牢固；引出线在进入轴中心孔处是否松动；用兆欧表接引出线引出轴中心孔后的端头，测量对地(轴或铁心等)的绝缘电阻，低压电机应不低于 5 MΩ。

8 绕组的浸漆和烘干

8.1 绕组浸漆

8.1.1 绕组浸漆的主要作用

绕组浸漆的主要作用有如下三个。

(1) 使绕组导线之间以及导线与绝缘材料(只要指槽绝缘)、铁心之间的孔隙全部用漆灌满,从而形成一个整体的固体,便于将绕组在通电时产生的热量传导到机壳上,然后通过冷却系统进行降温。

(2) 将导线固定住,防止在通电时因电磁力的作用产生抖动和互相摩擦对其绝缘层的损伤以及由此产生的电磁噪声。

(3) 提高对潮湿和有腐蚀性的气体、灰尘油污的防护能力,从而加强了绝缘性能。

8.1.2 浸渍漆的性能指标和选择原则

浸渍漆的主要性能指标有:① 外观;② 黏度;③ 固体含量;④ 干燥时间;⑤ 厚层固化能力;⑥ 酸值;⑦ 闪点;⑧ 在敞口容器中的稳定性;⑨ 对漆包线的作用;⑩ 电气强度;⑪ 体积电阻率;⑫ 温度指数。

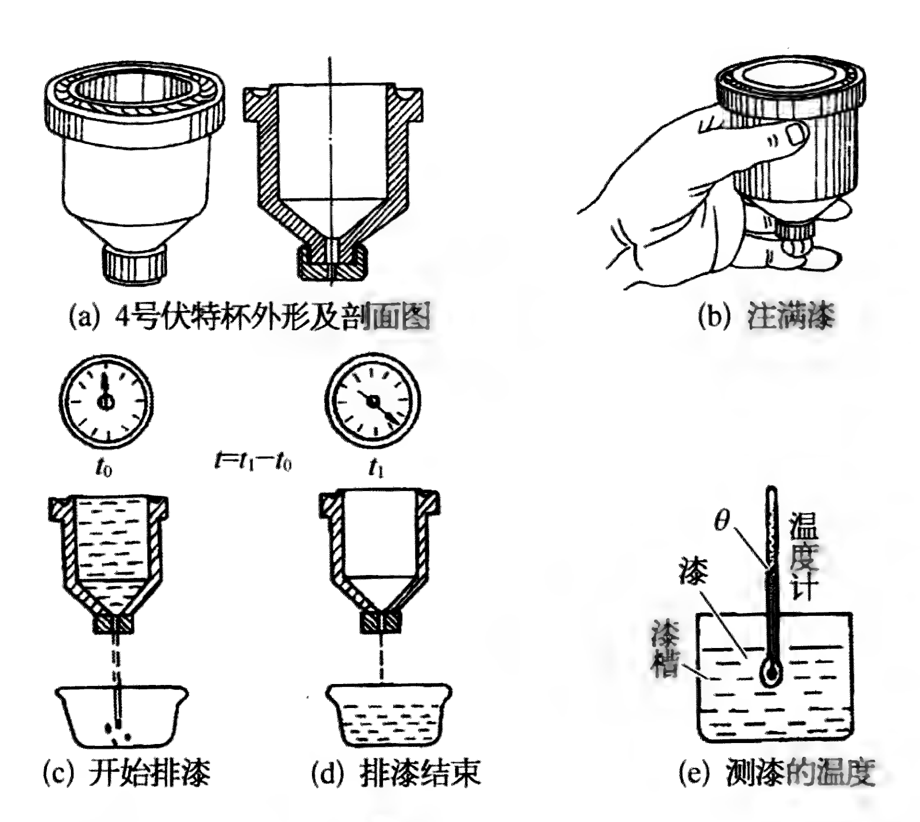
对电机绕组用浸渍绝缘漆的选择应考虑如下几个因素:① 电机所规定的绝缘耐热等级(温度指数),现较常用的为 130(B)级和 155(F)级;② 考虑对环境污染的问题,要尽可能使用无溶剂型;③ 电机将要适应的环境条件,例如空气湿度、温度,是否有较多的油污或水及其他液体会接触绕组等;④ 干燥后的机械强度;⑤ 黏度和固化能力。

8.1.3 测定浸渍漆黏度的方法和不同温度时对黏度的要求

浸渍漆黏度大小是影响绕组挂漆量的一个主要指标。

测定浸渍漆黏度所用量具有 4 号黏度计(简称 4 号伏特杯或 B_z-4 杯,杯的容积为 100 cm^3,如图 8-1 所示)和计时用秒表。

测量时,先用手指(戴塑料手套)将伏特杯的下口堵住,将要测量的漆



(a) 4号伏特杯外形及剖面图　(b) 注满漆
(c) 开始排漆　(d) 排漆结束　(e) 测漆的温度

图 8－1　黏度计及黏度测定过程

搅拌均匀后，灌满一杯（此时应注意上口面要保持水平），在堵下口的手指移开时，开始用秒表计时，到杯中漆完全流出为止，记下所用时间及漆的温度。在同一温度下，上述时间越长，说明漆的黏度越大，反之，说明黏度小。如图 8－1b～图 8－1e 所示。

漆的黏度将随温度发生变化，总的趋势是，温度高时黏度低（流完一杯漆所用的时间短）。表 8－1 为一个用于整浸工艺的实例，仅供说明上述问题。实际应用时，应根据漆的品种和具体工艺给出。

表 8－1　F 级通用无溶剂漆黏度与温度对照表

温度(℃)	黏度(s)	温度(℃)	黏度(s)	温度(℃)	黏度(s)
10	65.5	19	42.5	28	32
11	62.0	20	40.5	29	31
12	58.5	21	39	30	30
13	56	22	38	31	29
14	52	23	36	32	28
15	50	24	35.5	33	27
16	48	25	35	34	28.5
17	46	26	33.5	35	26
18	45	27	32.5	36	25.5

注：黏度偏差允许值：10～15℃为±3 s；16～30℃为±2 s；30℃以上为±1 s。

8.2 浸漆和烘干工艺

有条件的修理单位应采用正规的沉浸、滚浸和滴浸设备进行浸漆。

8.2.1 浸漆前准备工作

正式浸漆前，应对绕组进行预烘，目的是赶走绕组空隙中的水分和潮气，同时可加大漆的渗透能力，以达到最佳的浸漆效果。预烘温度应控制在 100～120℃之间，时间为 4～6 h。除正规的烘箱预烘法外，也可采用其他有效的方法。

8.2.2 浸漆和烘干工艺过程及要求

图 8－2 是一套正规的沉浸工艺流程，其工艺参数应视所用漆种而定。一般规定是采用“三点稳定法”确定烘干过程是否完成，即在烘干到

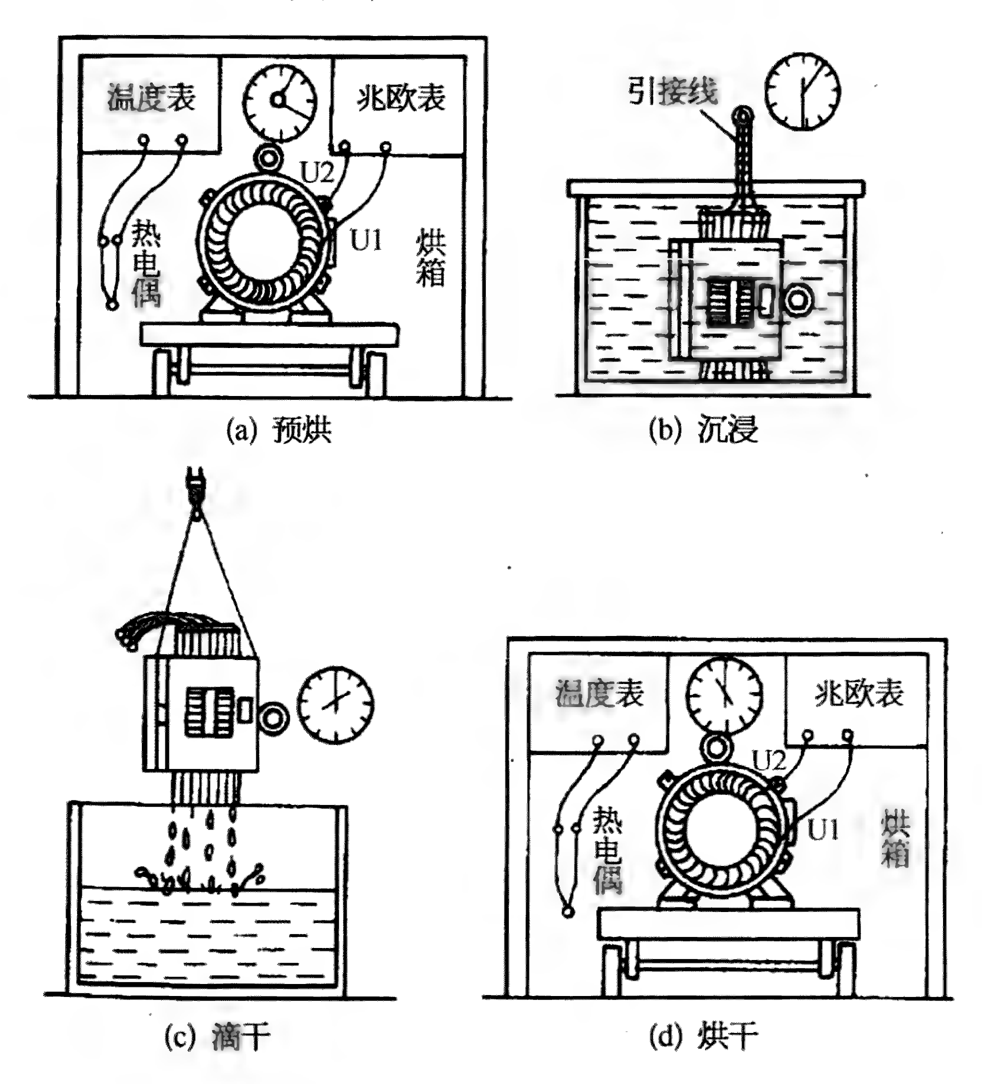


图 8－2 正规的沉浸工艺过程

一定时间后，每隔 1 h 或 0.5 h(根据工艺文件的规定)，测量一次侧绕组的绝缘电阻。如果连续三次测量值基本稳定(波动量在三点平均值的 5%以内)，即可认为烘干已达到了要求。

表 8－2 是无溶剂漆的一次浸漆和烘干工艺过程及要求，可供参考。

表 8－2　F 级无溶剂漆浸烘工艺过程及要求

过 程	电机规格(机座号)	温度(℃)	时间(h)	绝缘电阻(MΩ)	备　　注
预烘	≤160	115～125	2	—	分类以一炉中最大的工件为准
	180～250		3		
	≥280		4		
浸漆	冷却到 30～40℃后，浸漆 30 min				漆面应高于工件 100 mm 以上，漆的黏度应符合表 8－1 的规定，否则应加新漆或稀料
滴干	在室温下至少 30 min				
烘干	≤160	100～105	2	>2	1. 低温阶段必须全部打开排气门并鼓风，高温时关闭排气门 2. 达到温度开始计时 3. 达到 140℃后，每 0.5 h 测一次绝缘电阻 4. 出炉前绝缘电阻必须 3 点稳定，否则应延长时间
		140～145	6		
	180～250	100～105	3	>1	
		140～145	7		
	≥280	100～105	4		
		140～145	8		

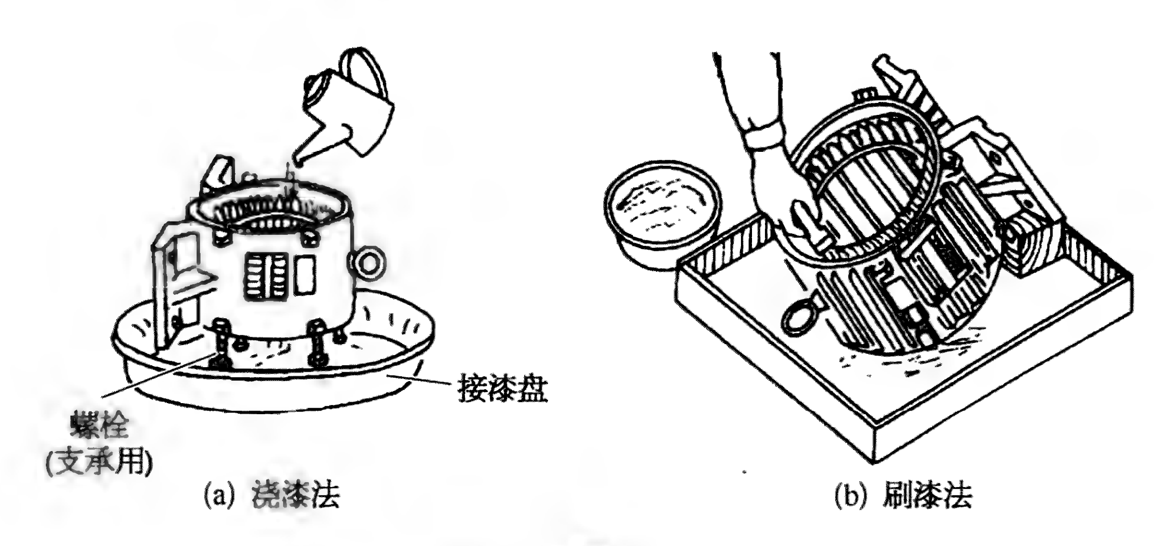
8.2.3　简易的浸漆方法和操作要求

严格地讲，简易浸漆不能叫浸漆，因为实际上是浇或刷漆。操作时，也应事先进行一段时间的预烘。电机应立或斜立放置。从一端浇(或刷)透后，翻过来再进行一次，以便使漆渗透到绕组的各个部位。如图 8－3 所示。

8.2.4　烘干电机绕组的简易办法和操作要求

1. 通电烘干法

将三相绕组接成串联、串并联或并联形式，通入单相交流电。调节电压，使电流在额定值的 0.5～0.7 倍之内。若有几台电机要烘干，可将它们的绕组串联后接 220 V 或 380 V 电源，但电流应控制在几台中最小额定电



(a) 浇漆法　　(b) 刷漆法

图 8－3　简易浸漆法

流的 1 倍以下。通电时间在 4 h 以上。以绝缘电阻稳定为准。见图 8－4a。

2. 灯泡烘干法

此方法用于小容量电机。一般采用普通白炽灯泡，有条件时，应采用红外线灯泡。可采用多盏灯，温度控制在 120℃以下。如图 8－4b 所示。

(a) 通电法

(b) 灯泡法　　(c) 电炉法　　(d) 火炉法

图 8－4　简易烘干方法

1—温度计；2—出气孔；3—木箱；4—垫块；5—进气孔；
6—铁桶；7—电炉；8—盖板；9—支架；10—煤炉

3. 电炉烘干法

采用普通电炉或电热管，放在电机下方。如图 8-4c 所示。

4. 火炉烘干法

将电机立式安放在一个金属支架上，下放一个无火烟的煤炉（用无烟煤或焦炭），电机上盖一个留有放气孔的盖板。烘烤一定时间后，调一次头再烘烤。注意绕组最高温度不要超过 130℃。如图 8-4d 所示。

8.2.5 真空压力浸漆(VPI)工艺

将要浸漆的定子绕组通过一定时间的预烘（例如 120℃±5℃，4 h）并冷却到 50～60℃后，放入专用的浸漆罐中后，关闭并锁紧浸漆罐的盖子，然后用真空泵将罐内（包括绕组内部所有的间隙）的空气抽出，使罐内形成符合工艺要求的真空状态（例如<100 Pa），并保持真空一定时间（根据电机的额定电压确定，例如 6 kV 电机为 3 h）。之后从储漆罐中将温度为 25℃以下的浸渍漆注入浸漆罐内，到漆面高出定子绕组一定尺寸（例如 100～150 mm）后，停止注入。通过空压机往浸漆罐内加压，达到规定的压力（例如 0.5～0.6 MPa，约 5～6 个标准大气压）并保压一定时间（同保持真空的时间）后，开始卸压到 0.2 MPa 以下，回漆到储漆罐中。回漆完毕，将浸漆罐恢复常压状态，待定子绕组将漆滴干后取出，投入到烘干炉中在工艺规定的温度环境中烘干 8～10 h。

上述浸漆工艺就叫做真空压力浸漆。因为真空压力浸漆的英文是“Vacuum Pressure Impregnation”（真空的、压力、注入），取三个单词的第一个字母，即 V、P、I，所以称其为“VPI”。

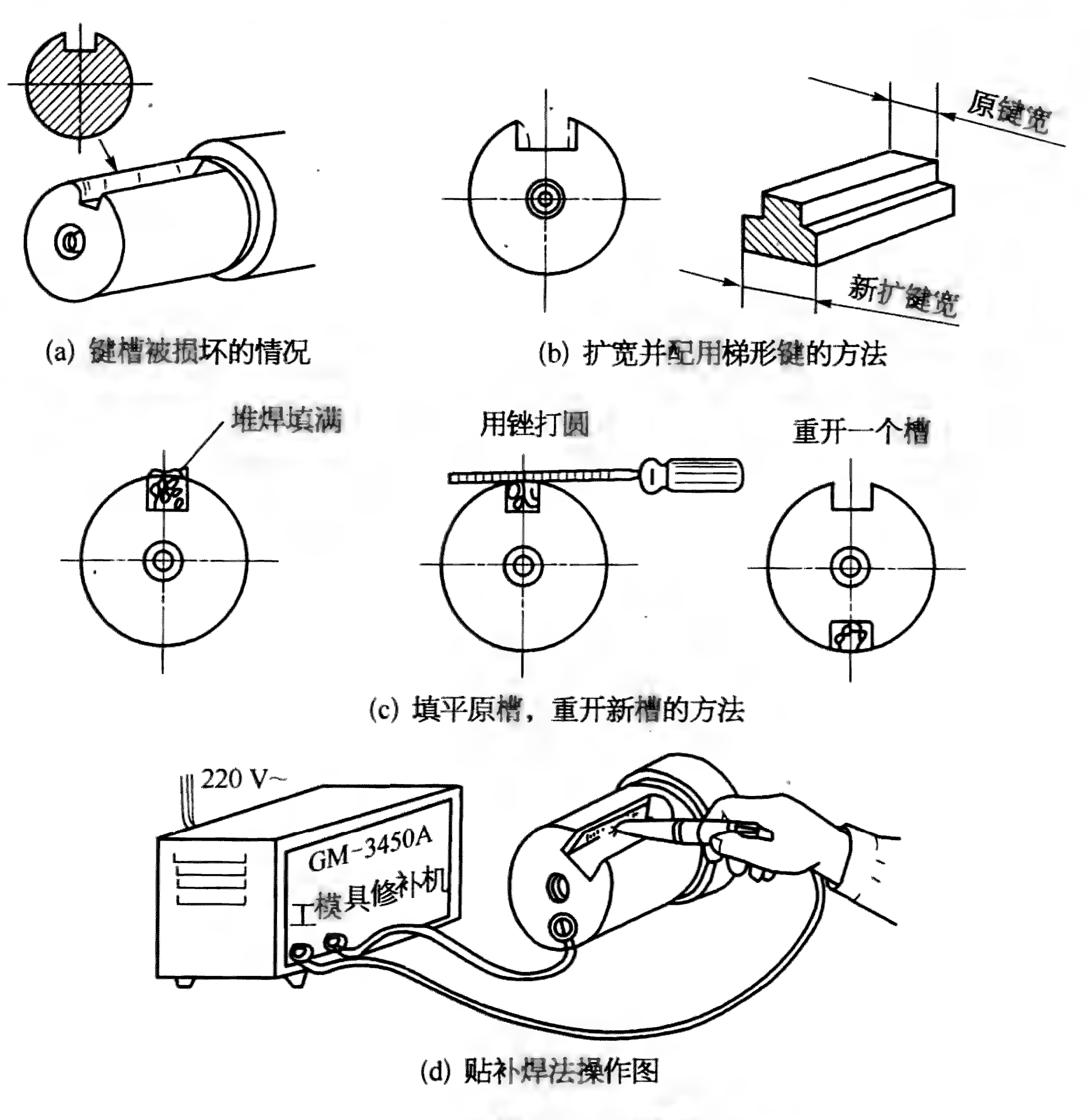
与普通沉浸相比，真空压力浸漆的优点是能使浸渍漆进入到绕组内部所有的间隙中，使浸漆达到最佳的效果；缺点是设备投入和维护量都很大、操作复杂且时间长，另外，在小批量生产时，由于所用漆存放时间有一定的限制（存放时间较长会使其化学成分和性质发生变化，有可能降低效果或无法使用），并且要保持温度不高于 10℃，所以平均摊入成本较高。

9　机械部件的修复

9.1　轴 损 伤 修 复

9.1.1　键槽

最常见的键槽损伤是键槽受力边压伤，俗称“滚键”，如图 9－1a 所示。此时可根据其损伤程度决定采用以下 3 种方法中的一种。



(a) 键槽被损坏的情况　(b) 扩宽并配用梯形键的方法

(c) 填平原槽，重开新槽的方法

(d) 贴补焊法操作图

图 9－1　修复损坏的键槽

1. 扩宽法

当键槽损伤很轻时，可用锉刀扩宽；损伤较重时，应用铣床铣宽。要求损伤的键槽两侧同时扩宽并完整。不可只扩一侧，否则将造成键槽的对称度偏差过大。对称度很差的键槽极易损坏。由于键槽扩宽，原尺寸的键不能再使用。需要配制如图 9－1b 所示合适的梯形键。

2. 重开法

当键槽损伤很严重时，应先将原键槽用堆焊法填满并将堆焊表面用锉打圆（最好磨圆）。然后，在其他部位（最好是在原槽的对面）重开一个键槽，如图 9－1c 所示。

3. 贴补焊法

用 GM－3450A（或 B、C）型工模具修补机专用设备修补损伤键槽。下面简单介绍其操作过程，见图 9－1d。

（1）将键槽的损伤部位用锉或其他工具（包括铣床等）加工出平面。

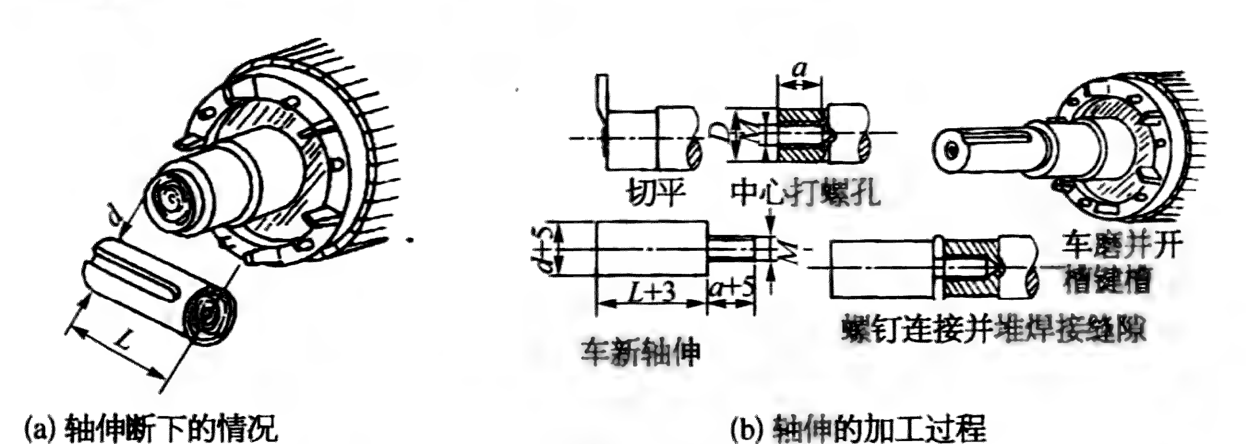
（2）裁剪一片面积适当的不锈钢片，贴在上述平面上。先用电极点焊几个点，将该片与键槽损伤面固定。

（3）将电极沿薄金属片边缘进行焊接。之后对内部进行密集地点焊，至焊牢为止。

（4）用锉刀等工具修正补焊处，使其达到要求尺寸。

9.1.2 断轴

断轴往往发生在轴肩或轴承肩处的退刀槽处，如图 9－2a 所示。修复断轴的过程如图 9－2b 所示。



(a) 轴伸断下的情况　　(b) 轴伸的加工过程

图 9－2　断轴再接的加工过程

（1）用车床将断面切平。

（2）在断面处打一个中心孔并套扣。螺孔的直径 M 约为轴径的 1/3。

(3) 选一段直径比断下轴头直径 d 大 5 mm 左右的同牌号(如 45 钢)轴钢,将其一端车出与第(2)步所打螺孔相配套的螺杆。

(4) 将第(3)步加工出的轴头旋入断面螺孔中,然后用堆焊法将空隙焊满。之后,利用当时的温度进行淬火处理。

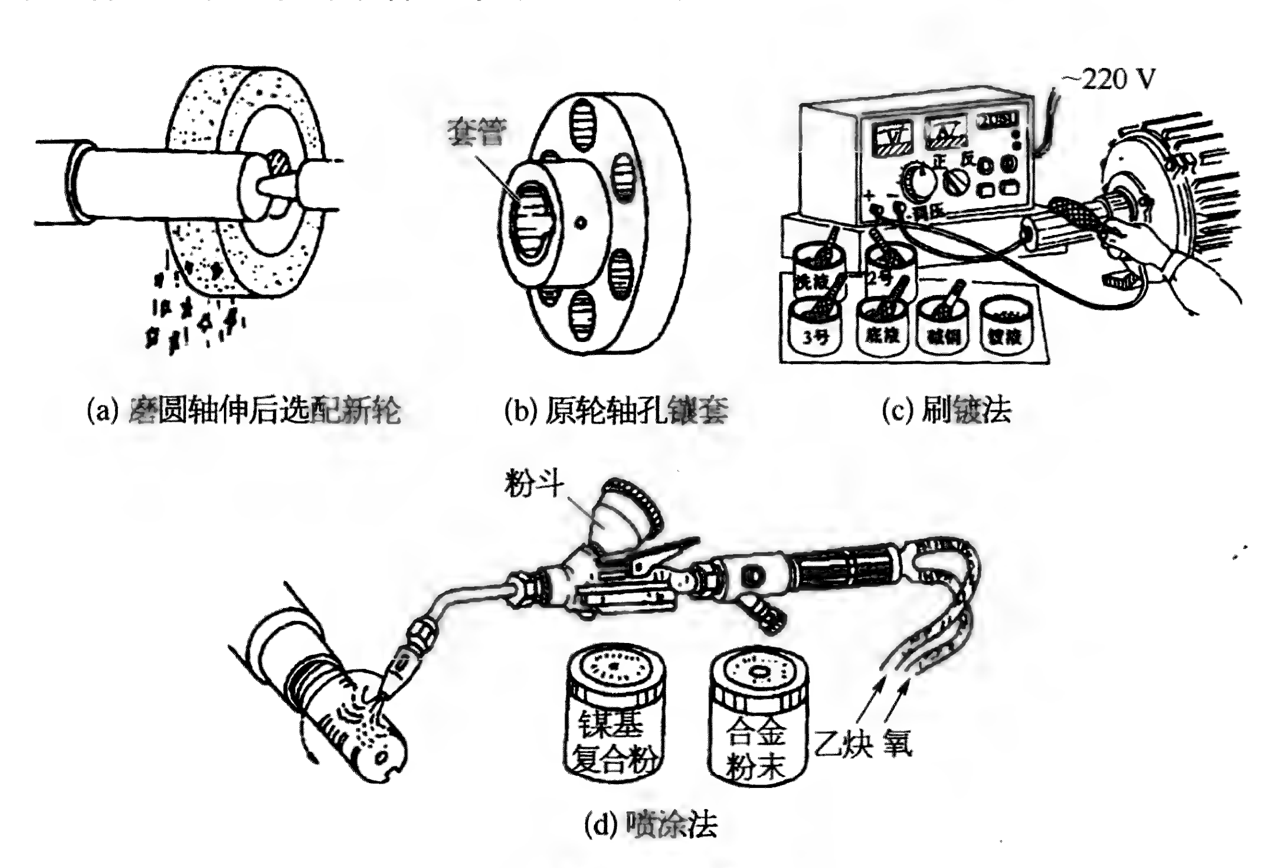
(5) 将轴伸车、磨成原有尺寸并截出原有长度。最后开出键槽。

9.1.3 细轴或有严重损伤的轴

由于联轴器或带轮与轴伸配合不当而松动时,轴伸会被研伤,不能正常使用。当损伤较轻时,可采用下述方法进行修复或处理。

1. 修磨后配合适的联轴节

当轴伸损伤较轻时,可上磨床将研伤磨平。测准磨后的直径值。按此尺寸选配内孔合适的联轴器或带轮(一般要单独加工出配套轴孔;若有可能,也可将原用轮轴孔车大后加入一个套筒,再车磨到合适的尺寸,所加套筒应与轮紧密结合)。如图 9-3a 和图 9-3b 所示。



(a) 磨圆轴伸后选配新轮　(b) 原轮轴孔镶套　(c) 刷镀法

(d) 喷涂法

图 9-3 轴伸研伤的修复方法

2. 刷镀法

当轴伸损伤在几十微米以下时,可采用刷镀法补到原有尺寸。刷镀法实质上是电镀法,只是不用常规电镀法的镀液槽。其电镀液通过一只

“刷子”供给，这个刷子也不是人们常用的毛刷，而是一个可接电极、用涤棉布包裹着脱脂棉（中心为电极柱）作为刷头的“刷子”，实际应称为“镀笔”。图 9-3 为操作现场图。下面介绍操作过程。

（1）用汽油将轴伸刷洗干净。对深沟中的油污可用刀片等工具清除。

（2）将电源线的负极线与轴伸端连接（可在轴端面打一个螺孔，然后用螺栓将电源线固定）。正极线接“清洗液”刷子。对轴伸进行清洗。

（3）正极线换用 2 号液刷子。将仪器面板上的“正、反”开关拨到“反”的位置（此时电源线的正负极倒换，即刷子接负极、轴伸接正极）。用刷子在轴伸上沿轴向来回刷。之后，用清水冲洗干净。换上 3 号液刷子，重复上述操作。

（4）将“正、反”开关拨回到“正”的位置（以下步骤均不动）。正极线接“底液”（一般称为特殊镍溶液）刷子在轴伸上来回刷进行打底。

（5）换用“碱铜”刷子，对轴伸刷镀一层铜。

（6）换用“镀液”（一般称为快速镍溶液）刷子，在轴伸上反复刷镀，直至镀层厚度达到预期要求为止。

（7）用干净的棉丝将轴伸擦干净。

以上 6 种溶液均为专业厂产品。操作过程中，各阶段时间及输出直流电压调整等参数详见设备说明。

3. 喷涂法

喷涂法是氧乙炔焰粉末喷涂法的简称，是将一种特制的复合金属粉末，借助粉末喷枪，通过氧乙炔火焰区加热到熔化或半熔化状态，喷洒在轴伸表面并与轴伸金属熔合，从而使轴伸加粗，达到修复的目的。粉末喷涂喷焊两用枪有 SPH-E、SPHT-6/h、QSH-4 型等，其结构与普通氧乙炔焊枪无大差异，差别主要在于它多出了一个装金属粉末的粉斗及粉斗与气路连接和控制的部件。图 9-3d 中所示的是其中一种。下面介绍工艺过程。

（1）先将轴伸加热到 80～120℃。

（2）用车床将轴伸表面的损伤面车掉并车出较细的螺纹状。目的是加强与喷涂物的结合强度。

（3）喷粉底。将轴（转子）装在车床上并以适当的速度[一般使轴伸外圆的线速度为 20 m/min 为宜。可用式 $n=20/\pi D$ 来求出每分钟转速 n，其中 D 为轴伸直径，单位用 m。例如，对 $\phi 48$ mm 的轴伸，则 $n=20/(3.14\times$

0.048)≈133 r/min。上式可简记为 6.4/D]旋转。粉斗中放打底用的镍基复合粉。喷涂厚度在 0.1～0.2 mm 之间。

(4) 粉斗中换为热喷涂焊合金粉末(镍基、铁基自熔合金粉末)。喷焊时，温度应控制在 300℃以内。若温度偏高时，可采用间歇作业的方式进行降温。但再喷时，应先用钢丝刷清除氧化膜和灰粉。

(5) 喷涂厚度应超过轴伸应有尺寸 0.5～1 mm，即留出 0.5～1 mm 的加工余量。

(6) 缓冷：一般可在室温下冷却。对于较大部件，可用石棉纸或其他保温材料进行保温，使其慢慢冷却。

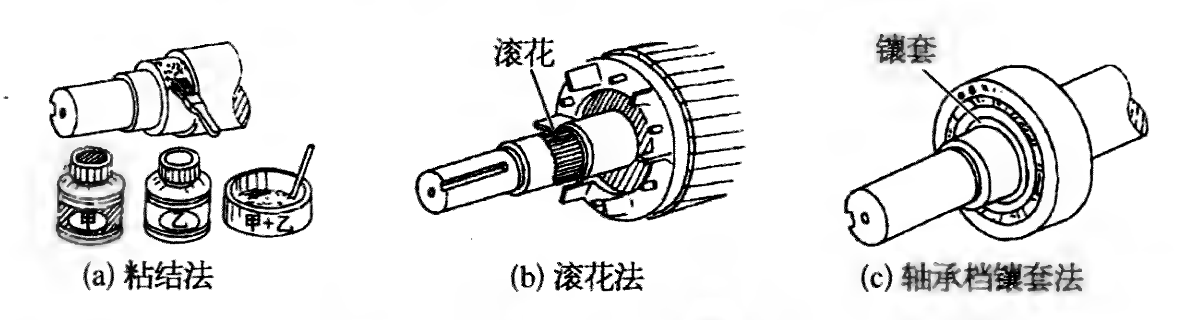
(7) 车或磨轴伸至预定尺寸。

9.1.4 轴承档

轴上安装轴承的部位称为轴承档。由于某种原因，轴承内圈与轴产生滑动时，轴承档就会被研磨损伤。其修补方法有刷镀法、喷涂法、粘结法、滚花法和镶套法等多种，前 4 种一般用于磨损较小的修补，其中刷镀法和喷涂法与前面讲过的轴伸修补方法完全相同。下面仅介绍后 3 种方法。

1. 粘结法

轴承档直径磨损量在 0.2 mm 以下时，可采用涂专用胶后再安装轴承，利用胶的粘结力使轴承内圈固定在轴上的方法。目前能用的专用胶品种很多，现以农机 2 # 胶为例介绍粘结过程。如图 9-4a 所示。



(a) 粘结法　(b) 滚花法　(c) 轴承档镶套法

图 9-4　轴承档研伤的修复方法

(1) 先将轴承档、轴承内圆用汽油清洗干净。

(2) 将甲、乙两组分按 7∶1 重量比进行混合，迅速调匀。用多少调多少。

(3) 将调好的胶均匀地涂在轴承档上。等待 10～20 min 后，将轴承套入。待固化后，便可装入电机中使用。

2. 滚花法

对损伤很小的较小容量电机，可用滚花法加粗轴承档“直径”，再次套入轴承后，可起到加固的作用。滚花需用车床和专用滚花刀具。如图 9-4b 所示。

3. 镶套法

当损伤较重时，可采用镶套法。先将损伤的轴承档车到略大于其前段(与轴伸过渡的一段)直径的尺寸。按轴承与轴配合的公差，车一个与车细的轴承档相配合的金属套管，该套管外径应比轴承内径大 1 mm 左右。用热套法将该管套于轴承档处。完全冷却后，车磨成原配合尺寸。如图 9-4c 所示。

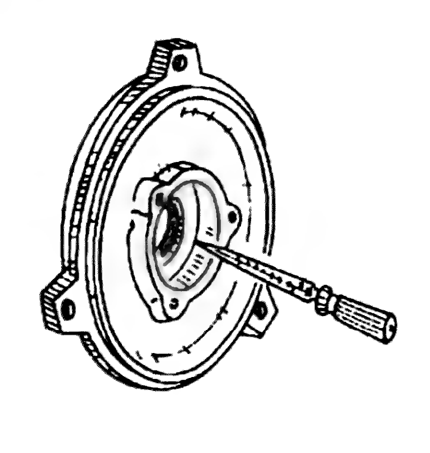
9.2 端盖损伤修复

9.2.1 轴承室直径小

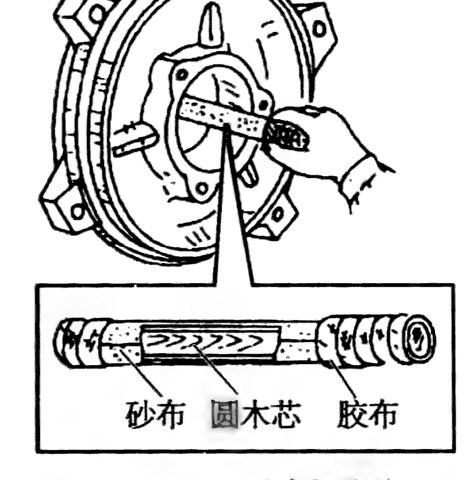
由于加工时轴承室直径超下差或换用轴承外圈直径偏大，造成轴承外圈受挤压而变形，将使电机产生振动噪声较大和轴承过热等故障。此时可采用下述方法进行修理。

1. 刮削法

用三棱刮刀在轴承室侧面压痕处进行刮削，加大其直径。用力要轻，避免刮出毛刺，如图 9-5a 所示。



(a) 用刮刀刮削法



(b) 用砂布打磨法

图 9-5 轴承室直径小时的修理方法

2. 打磨法

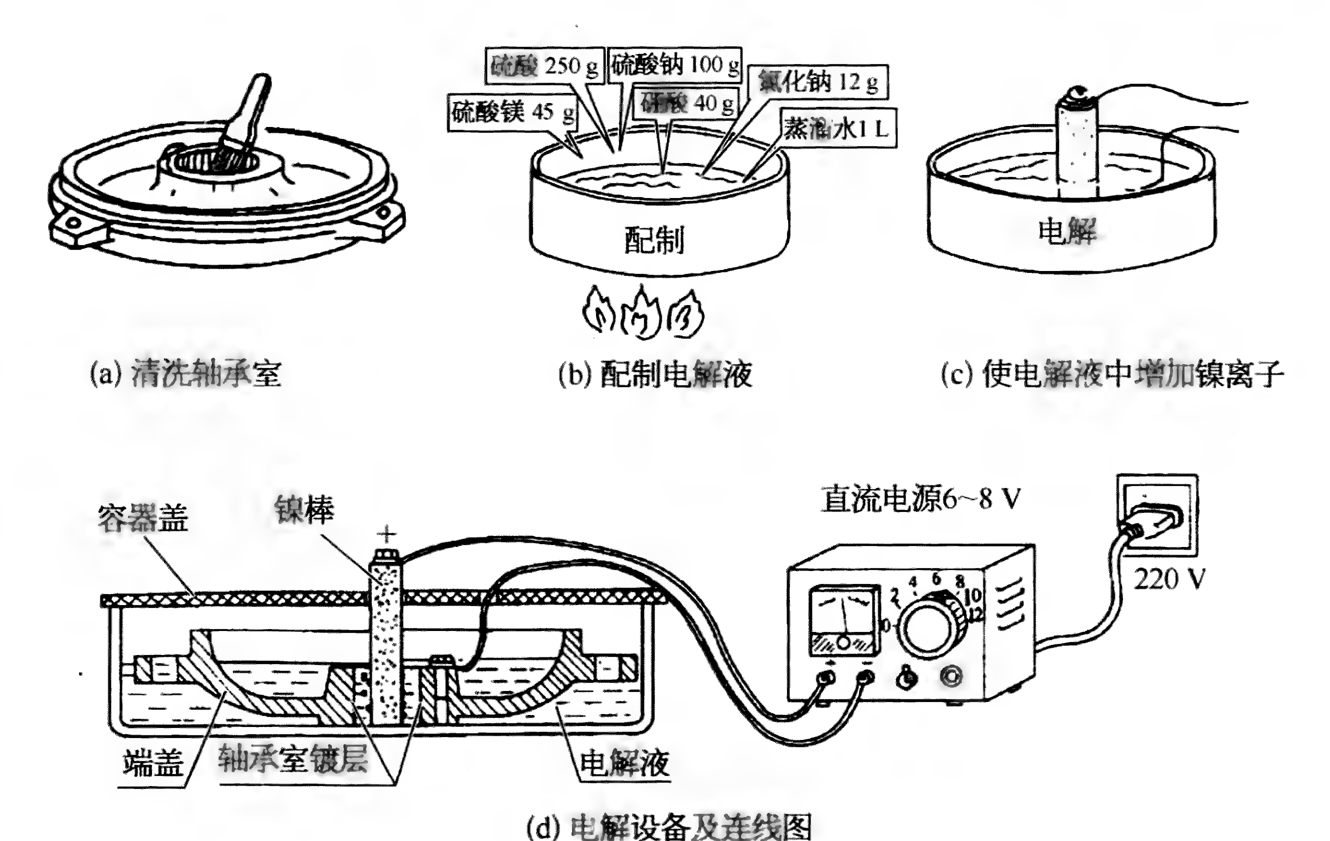
将砂布卷在一根平直的圆木棍上，两端用胶布扎紧。先用00号砂布进行粗磨，再用金相砂纸进行细磨，直到符合规定尺寸为止，如图9－5b所示。

9.2.2 轴承室直径大

由于某些原因，造成轴承与轴承室的相对运动，使轴承室磨损。此时电机将产生较大振动和噪声，轴承过热，严重时会使轴承损坏或定、转子相擦（扫膛），最后造成整机损坏。

当轴承室直径超上差时的修复方法有电镀法、刷镀法和镶套法三种，其中刷镀法和镶套法与前面9.1.3和9.1.4中介绍的方法相同。下面仅介绍电镀法。

(1) 用汽油擦洗轴承室内油污，打磨掉锈蚀和毛刺。有必要时，可先用氢氧化钠（NaOH，俗称火碱）溶液冲洗，最后用汽油或丙酮洗净并擦干。如图9－6a所示。



(a) 清洗轴承室　(b) 配制电解液　(c) 使电解液中增加镍离子

(d) 电解设备及连线图

图9－6　电解法修补偏大的轴承室

(2) 配制电解液。按图9－6b所示重量（可理解为重量比）配制混合液，加热到80～90℃达1 h。之后，将镍棒接直流电源正极，混合液接负极，通电1～2 h，使混合液中含有镍离子，制成电解液，如图9－6c所示。

(3) 将清洗干净的端盖放入电解液中。端盖与直流电源负极相接；轴承室内插放一根镍棒，镍棒接正极。用盖盖住电解槽并固定镍棒。如图 9-6d 所示。

(4) 接通电源，调节电压在 6～8 V 之间，电流值按镀件面积大小控制，一般取 5 mA/cm² 或≤0.5 A，以镍棒表面出现少量气泡为准。电镀速度以每小时镀厚 0.01～0.02 mm 为宜。

9.3 裂开机座底脚修复

9.3.1 焊接法修复

当发现铸铁机座底脚出现裂纹时，对于较小容量的电机，可用铸铁焊条进行电焊。在焊接前，应将裂纹处用小砂轮打出坡口。底面焊接后，用砂轮或锉刀打平。

9.3.2 机械法修复

1. 采用钢板上加固法

如图 9-7a 所示，将一块厚度在 2 mm 以上的钢板用螺钉与底脚固定在一起。钢板钻光孔，底脚打螺孔。

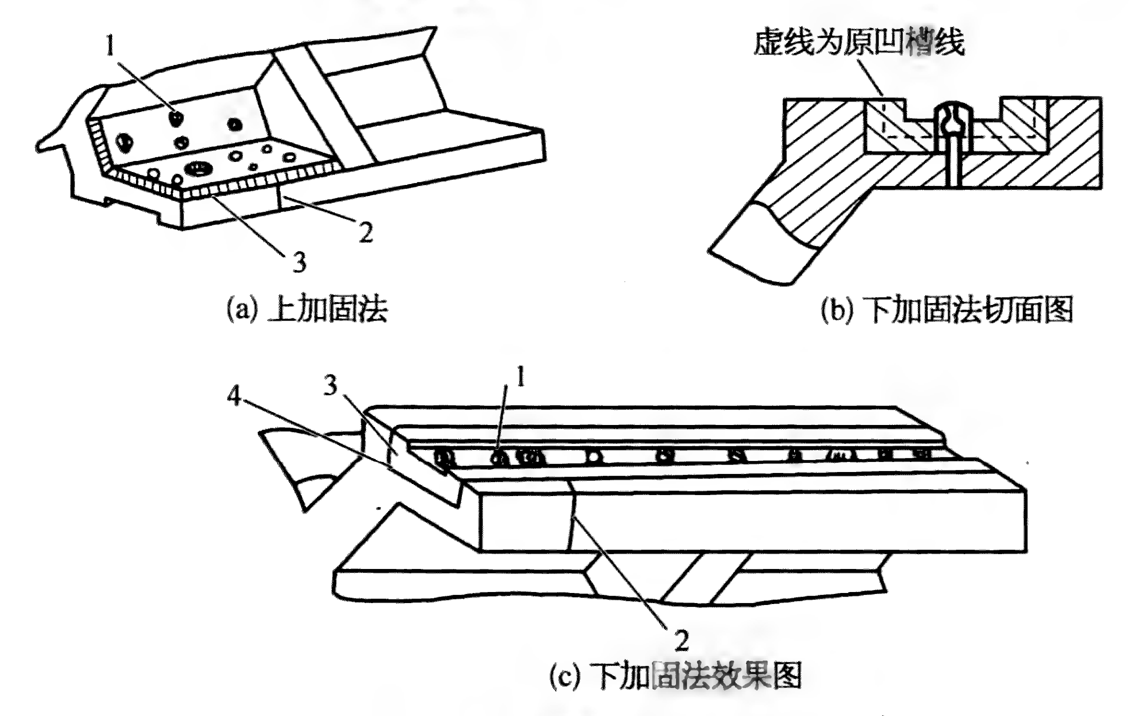


图 9-7 机座底脚断裂的钢板加固法

1—螺钉；2—裂纹；3—钢板；4—涂胶

2. 采用钢板下加固法

本方法比较适用于底脚较大较厚的电机。先将有裂纹的底脚凹槽刨(或铣)宽、刨深。再按此时的尺寸加工一条凹面钢板条。在加工后的底脚凹槽面上涂金属胶后,将钢板条镶入底脚凹槽中,用螺钉将两者固定(事先钢板打通孔,底脚对应位置打螺孔)。最后加工多余平面和两端。如图 9－7b 和图 9－7c 所示。

9.4 铸铁件的砂眼和气孔修补

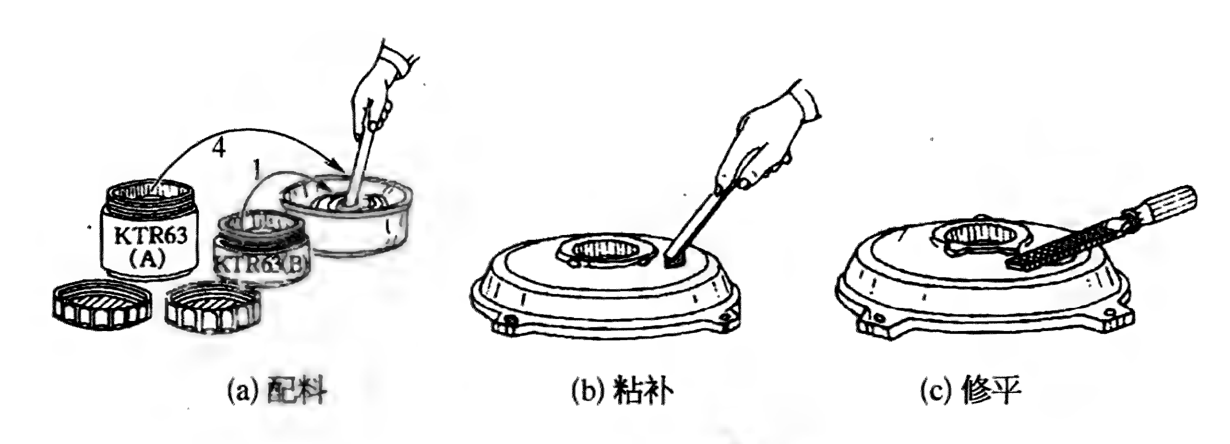
端盖、机座等铸铁件有较小的砂眼和气孔时,可用专用粘补剂进行粘补。目前,常用一种专业生产的“铸铁 KTRa 系列专用修补剂”和一种自配的“环氧粉末铸件粘补剂”,另外还可以利用金属焊料补焊的方法。

9.4.1 用“铸铁 KTRa 系列专用修补剂”修补的工艺

铸铁 KTRa 系列专用修补剂分三种,一种型号为 KTRa63,用于直径小于 2 mm 的铸铁件气孔、沙眼粘补;第二种型号为 KTRa125,主要用于铸铁件精加工配合面上的气孔、沙眼、缩孔、裂纹等缺陷的粘补;第三种型号为 KTRa500,主要用于要求较高、形状复杂铸铁件或其他金属部件缺陷(如部件磨损、轴承座研伤的粘补尺寸超差等)的修补。

该类粘补剂由两种材料组成一组,一种是主料,由环氧树脂、环氧铁粉、硅粉、炭黑等组成;另一种为固化剂。两者均呈胶泥状。

铸铁 KTRa 系列专用修补剂的使用方法如下(见图 9－8):



(a) 配料　　(b) 粘补　　(c) 修平

图 9－8　KTRa 铸铁系列专用修补剂使用方法

1. 清理要粘补的砂眼、气孔

用钢质划针等工具清除砂眼或气孔中的锈蚀和污物,在用汽油或丙

酮清洗干净，使其露出铸铁面。

2. 配制粘补剂

根据当时的环境温度和湿度，按使用说明书提示的配比和预计用量，取适量的主料和固化剂，放在一个容器中混合并搅拌均匀，使混合物颜色一致。例如在20℃左右时，主剂与固化剂的体积配比为4∶1(KTRa125和KTRa500)或3∶1(KTRa63)，温度较低时，应适当提高固化剂的比例，反之，适当减少固化剂的比例。

3. 粘补

先取少量配制好的粘补剂涂敷于待修表面，压实，使之充分浸润。再将砂眼或气孔等用粘补剂填满，要填实，并略高出周围的平面，及留出加工余量。天气较冷时，可用喷灯或气焊对铸件加热。

4. 清洗

用丙酮或酒精清洗多余的粘补剂。

5. 固化

在温度为25～30℃、相对湿度小于65%的环境中，8 h后可以进行机加工，24 h后可以使用，三天后可达到最高强度。若温度较低，可提高温度或适当延长时间。

6. 修整

根据对粘补面粗糙度的不同要求，用砂轮、锉刀、油石等工具将粘补面修整到要求的形状。

9.4.2 用“环氧粉末”修补的工艺

1. 配制环氧粉末铸件修补剂(见图9-9)

首先视需修补面的大小，按610(E42)环氧树脂∶607号环氧树脂∶60～80目的石英粉∶二氰乙胺固化剂∶炭粉＝20∶30∶48∶1.5∶(0.5～0.75)重量比选择材料。

配制环氧粉末铸件粘补剂的过程如下：

(1) 将两种树脂倒入一个铁质的器皿中，加热至熔化状态。

(2) 当温度达到160℃左右时，加入石英粉进行充分调和。

(3) 待器皿内物料温度降至120～130℃时，加入炭黑，继续调和。

(4) 将器皿离开热源，降温至室温时，加入二氰乙胺，快速调和均匀，自然冷却成固化物料。

(5) 将上述固化的物料碾压成粉末，用60～80目的筛子过筛，所得细

610(E42)
环氧树脂
20%
607号
环氧树脂
30%
48%
60~80目石英粉
0.5%~0.75%
炭黑
1.5%
乙氰二氨固化剂

(a) 配方（重量比）

1
610环氧
树脂
607环氧
树脂
石英粉
2
3
炭黑
220 V
电炉

(b) 加热熔化两种树脂

二氰乙胺
4

(c) 加入二氰乙胺快速调和均匀

5

(d) 碾压成粉末后用60~80目的筛子过筛

图 9-9 “环氧粉末修补剂”的配置方法

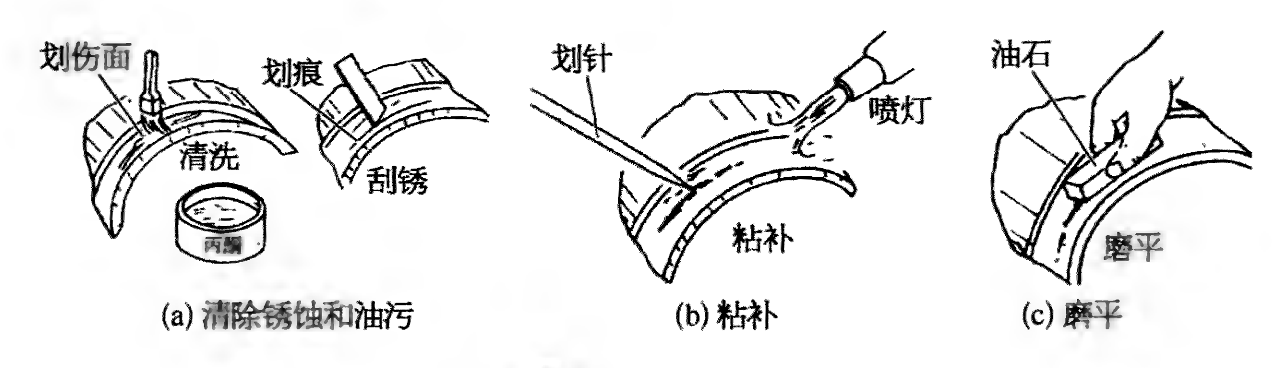
粉末即为将要使用的环氧粉末。

2. 修补过程（见图 9-10）

（1）用丙酮洗去油污，刮去划痕或砂眼内锈迹，将待修补处清理干净，使其露出金属本色。

（2）利用工频感应加热器或电烤箱、喷灯等工具对待修补部件进行预热。

（3）将环氧粉末撒在划痕或砂眼处，对部件加热使环氧粉末熔化，呈



(a) 清除锈蚀和油污　(b) 粘补　(c) 磨平

图 9-10 “环氧粉末修补剂”进行修补的过程

浅黄色。用划针之类的尖细工具不断搅拌粉末并抹平，使其牢固地粘贴在划痕或砂眼处。上述过程中，应控制加热温度，不可过高，否则会将环氧粉末烧焦；用喷灯加热时，应注意其火焰不可直对环氧粉末，应喷烤外围。

(4) 停止加热后，待修补的部件冷却到室温时，用油石研磨或用磨床修磨修补处，使其平整。

(5) 再次用工频感应加热器或电烤箱等对部件进行低温加热，使粘贴处的环氧充分固化并产生光泽的表面。再次修磨，使修补表面达到要求的形状精度。

9.4.3 用锡锌焊料补焊的工艺

选用含锡 58%～60%的锡锌焊料，用 30%的氯化氨加 70%的氯化锌并溶入 1～1.5 倍的水中制成的混合液作焊剂。

焊补前，要清理焊补处，对待焊补部件用喷灯进行预热。之后在要焊补处涂焊剂。将焊料抵在要焊补处，加热使其熔化并附着在金属部件上。部件完全冷却后，打磨焊补处，使其平整度达到要求。

10 修理后的整机试验

10.1 试验项目和试验报告

电机经修理组装成整机后，应进行一些必要的检查与试验，其项目及要求见表 10－1，其中带“ * ”的为必做项目。应尽可能配齐相关设备，完成全部项目。这些项目的检查与试验方法，有大部分与前面讲述的故障检查和定子试验等完全或基本相同，这些只在表 10－1 中进行说明，新的和有不同要求的将在本章中介绍。在绕组的试验和测量中，对绕线转子电动机，同时包括定子和转子绕组。合格标准中所提到的“标准值”有三个来源：一个是国家或行业标准，有时是生产企业的自定标准；第二个是生产企业的出厂标准或说明书等资料中给出的标准；第三个是同业生产企业同一规格正常电机的实测数值或修理前实测的数值。

表 10－1 三相异步电动机修理试验项目种类与要求

序号	项目名称	记录参数	合格标准	备 注
1 *	测量三相绕组直流电阻	三相直流电阻和温度，进行温度折算	与标准值偏差≤3%，三相不平衡度≤3%	
2 *	测量绕组对地和相间绝缘电阻（冷态）	绝缘电阻数值	低压电机，≥5 MΩ，高压电机，≥50 MΩ	
3 *	绕组对地和相间耐电压试验	试验值和时间，是否有击穿或闪络现象	无击穿或闪络现象	试验电压为 $U_G = (2U_N + 1\,000)$V，时间为 1 min
4	匝间耐冲击电压试验	观看放电波形	见 3.2.6 和 3.4.3	定子做过后可不做
5	堵转试验（额定频率）	三相堵转电压、电流和损耗、堵转转矩	符合标准要求	见 10.2。转矩在有要求时测取

（续表）

序号	项目名称	记录参数	合格标准	备　注
6*	空载试验（额定电压和）	三相空载电流和损耗，感觉振动和噪声	符合标准要求	见 10.3
7*	转向检查	转向	符合用户要求	见 3.2.9
8*	转子开路电压	定子输入电压和转子开路电压	与标准值偏差≤5%，三相不平衡度≤3%	见 10.4 仅对绕线转子
9	振动测量（空载）	振动数值	符合标准要求	见 10.5
10	噪声测量（空载）	噪声数值	符合标准要求	见 10.6
11	轴伸圆跳动	跳动值	符合标准要求	同 3.2.21
12	凸缘端盖止口径向和轴向跳动	跳动值	符合标准要求	同 3.2.22
13	制动转矩测量	制动转矩值	符合标准要求	见 10.7 仅对制动电机
14*	转速调整范围检查	转速调整范围	符合标准要求	见 10.8 仅对电磁调速电机

应将试验情况写成报告交给用户或自己存档待查，普通单速电机报告格式可参考表 10-2。

表 10-2　三相异步电动机修理试验报告

型号：	电压：V	频率：Hz	电流：A	编号：	单位：
电阻（Ω）	R_U：　R_V：　R_W：　$R_{平均}$：　温度：　℃			绝缘电阻（MΩ）	对地： 相间：
耐电压	V，1 min	匝间耐电压	V	转　　向	顺时针（　） 逆时针（　）
堵转试验	堵转电流（A）	I_{K1}：　I_{K2}：　I_{K3}：　$I_{K平均}$：		堵转功率（W）	
空载试验	空载电流（A）	I_{01}：　I_{02}：　I_{03}：　$I_{0平均}$：		空载功率（W）	
转子电压（V）	U_{KL}：　U_{LM}：　U_{MK}：　$U_{2平均}$：			定子电压（V）	
备注和说明				结论	

试验员：______　记录员：______　校核审查员：______　试验日期：______年___月___日

10.2 堵转试验

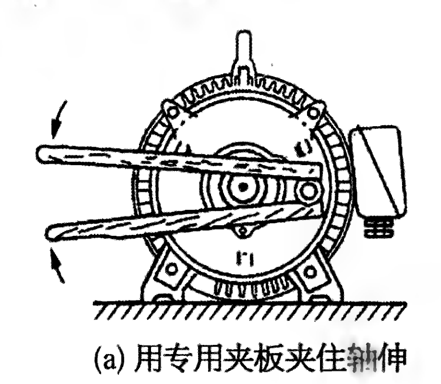
堵转试验即在转子堵住的情况下，给定子加规定的三相交流电压，测取相关数据的试验。该项试验被习惯称为“短路试验”。根据需要，有检查性试验和测取堵转特性曲线的型式试验之分。

通过堵转试验，可检查绕组接线是否正确，而最重要的是可检查出转子的缺陷，如断笼等故障。测试出堵转特性曲线时，可从中得到起动转矩及起动电流与输入电压的关系，查出在额定电压或其他电压时的起动转矩和起动电流值，这些数据是考核电机起动性能的重要指标，也是使用时所需要的重要参数。

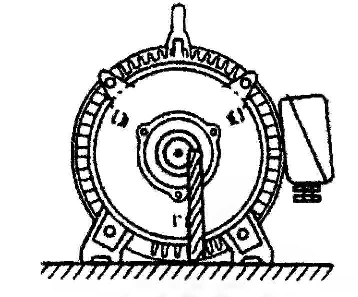
10.2.1 检查性堵转试验

所用设备和仪器仪表有：① 三相调压器，其输出电压和输出额定电流应满足被试验电动机的要求；② 三个交流电流表和配套电流互感器；③ 交流电压表（三个或一个配用一个三相转换开关）；④ 交流功率表；⑤ 堵住转子的器具。三相电压、电流和功率可采用一个多功能三相数字式仪表。

（1）先将电机的转子用器械堵住，堵住电机转子的方法，对于几十千瓦以下较小容量的电动机，可采用图 10－1a 和图 10－1b 所示的自制夹具或卡具堵住转子轴伸，金属卡具的内套应采用铜或尼龙等材料，以避免损伤电机的轴伸表面和键槽；对于容量较大的电动机，也可用图 10－1c 所示的方法将转子“支”住，所用木板应选用较硬的木材。应注意：在安放卡具或支撑木板之前，应事先给该电动机通电，观察其转动方向，以便正确选择放置卡具或支撑木板的位置；通电后，要关注所用工具的强度是否



(a) 用专用夹板夹住轴伸　　(b) 用专用卡具卡住轴伸



(c) 用硬木板支撑轴伸

图 10－1　将转子堵住的措施

有问题，发现有危险时应尽快断电。用木板支撑时，所有人员都应远离支撑的位置。

(2) 按正常工作的接线方式接好电源线。通过三相调压器给电机加额定频率的低电压。该电压的大小有两种确定方法：① 取额定电压的1/4左右，对380 V电机，在70～110 V之间，极数较多的电机取大值；② 使电流等于额定电流时的电压值。

(3) 测取三相定子电流，有条件时还应测取三相输入功率。

10.2.2 测取堵转特性曲线的试验

堵转特性曲线包括两条常用的关系曲线，即：① 堵转转矩与电压的关系曲线 $T_K=f(U_K)$；② 堵转电流与电压的关系 $I_K=f(U_K)$。下面简要介绍这两条曲线的测试和计算方法。

1. 试验设备

堵转试验时，应尽可能将电压加到额定值，并实测转矩。此时所配电源设备应具有提供被试电机额定电流6倍以上的能力。

实测转矩的设备，最简单的是弹簧秤，也可用电子秤、磅秤、转矩测试仪等。

图10－2所示为用弹簧秤测取转矩的装置。

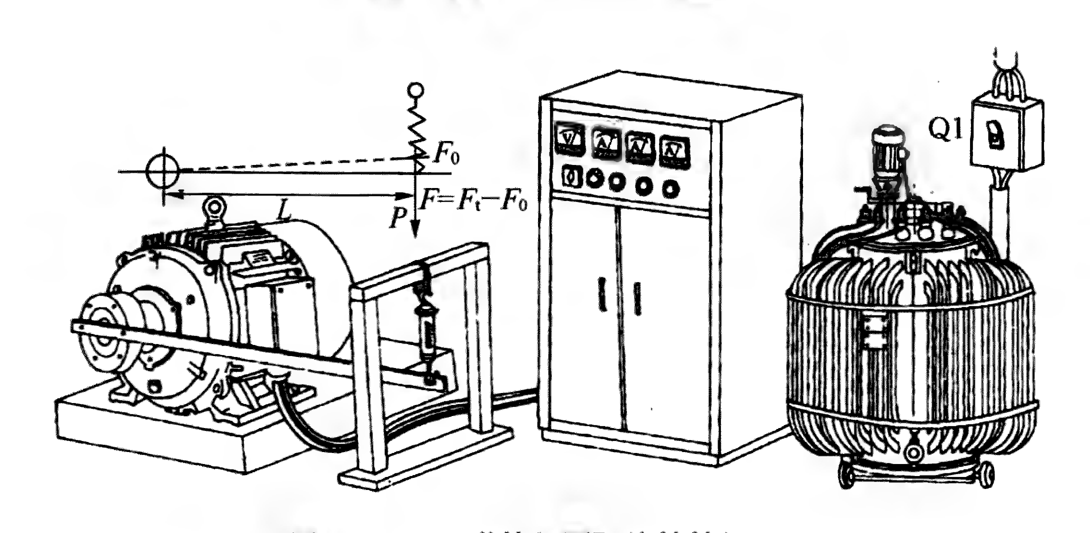


图10－2 用弹簧秤测取堵转转矩示图

2. 试验过程

以最高电压达到额定电压为例。并结合图10－2所示设备进行介绍。

(1) 将电动机固定安装在一个较重的平台上。

(2) 接好电源线后，加低电压，看电动机转向是否符合测力计的要求。如图10－2中，从轴伸端看应为顺时针方向。

(3) 将试验用轮(可使用联轴器)装到轴伸上并用键固定。装上用角钢、扁铁或钢筋制作的力臂。应注意,该力臂的机械强度必须保证符合被测最大转矩的要求,否则可能出现安全事故。

(4) 根据估算的电机最大堵转转矩,选择弹簧秤的量程(单位为 N)和力臂的长度(单位为 m)。将弹簧秤挂在一个支架上,下端与力臂联结。应使力臂略上翘一个角度(见图中虚线位置),为的是将来加最大转矩时力臂能处于水平位置,这样试验误差最小。

以力臂长度为 1 m 计算,弹簧秤的量程可按下式估算(若忽略初重 F_0,堵转转矩约为额定转矩的 3 倍)。

$$F_C \geqslant 10pP_N + F_0$$

式中 F_C——弹簧秤量程(N);

p——电机的极对数;

P_N——电机的额定功率(kW);

F_0——在未通电前弹簧秤所指示的数值,称为"初重"(N)。

(5) 装好弹簧秤后,再次核实力臂的长度 L,并观看弹簧秤的示值 F_0 (N)。

(6) 若需测取三相电流、电压、功率和转矩,在使用多个指针表时,为了在同一时间内读数并减少每一点的测试时间,最好采用多人同时读表。若采用带数据锁定功能的数显式多电量测量仪表和数显式电子秤,则可由两人来完成。为防止电机过热,试验应在尽可能短的时间内完成,测取一个点的时间不应超过 10 s。

(7) 给电机加三相电压。第一点尽可能达到额定值。然后逐渐降低电压至电流达到额定值为止。共测取 5~7 点。每点都应读取三相电压 U_K(当三相电压确认平衡时,可为一相)、三相电流 I_K、三相功率 P_K 和弹簧秤的读数 F_t。

上面的试验过程可用下面的流程图表示。

$$U_K \geqslant 0.9U_N \text{ 开始} \frac{\text{测量 } I_K;U_K;P_K}{5\sim7\text{ 点}};F_t \text{ 到 } I_K \approx I_N \text{ 为止}$$

3. 绘制堵转特性曲线

(1) 计算出对应于每点电压的三相电流平均值 I_K(A)和转矩值 T_K(N · m)

$$T_K = FL = (F_t - F_0)L$$

式中 F——拉力(N)；

L——力臂有效长度(m)；

F_t——弹簧秤每点的示值(N)；

F_0——初重(N)。

(2) 在一张直角坐标纸上，以电压为横轴，电流和转矩为纵轴，标出各坐标点。然后用曲线板将所标点连成一条光滑的曲线。若个别点偏离较大，可剔除。见图 10－3 所示。

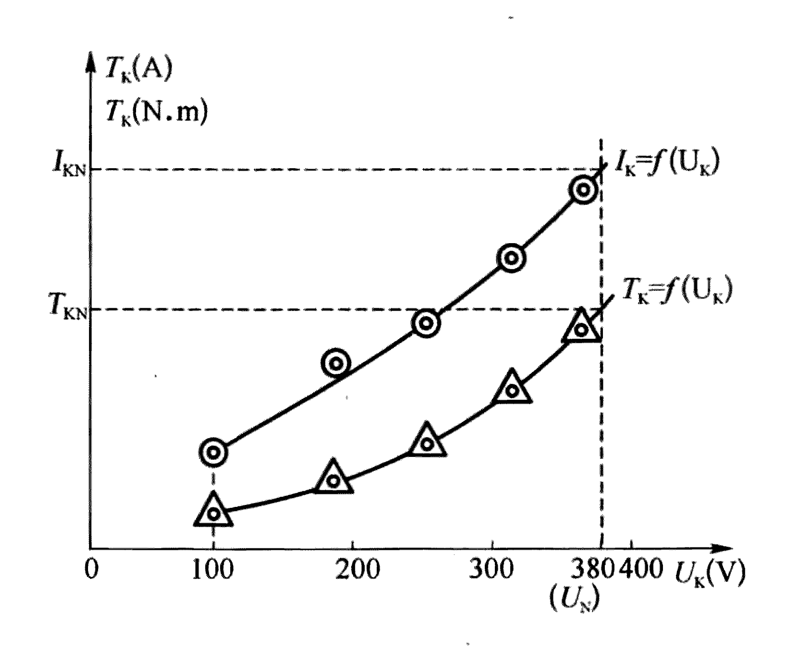


图 10－3 三相异步电动机堵转特性曲线

4. 求取额定电压或其他电压时的堵转电流和转矩

在试验电压范围内的任一电压值时的电流和转矩都可从曲线上查出。若最高试验电压未达到额定值，可用曲线板顺势延长到额定电压点，再进行查对。

附录 9 给出了 Y 和 Y2 系列(IP44)电动机堵转转矩和堵转电流的行业标准，供考核使用。

10.2.3 用Y－△降压间接求取起动电流和转矩的试验方法

在没有上述设备时，对于正常工作为△接法的电机，可将其接成Y形后通入额定线电压(例如 380 V)。试验设备及线路见图 10－4 所示。

(1) 将转子用机械堵住，要堵得牢靠、安全。

(2) 将电机接成Y形。给电机加额定电压 U_N(V)，测取三个线电流

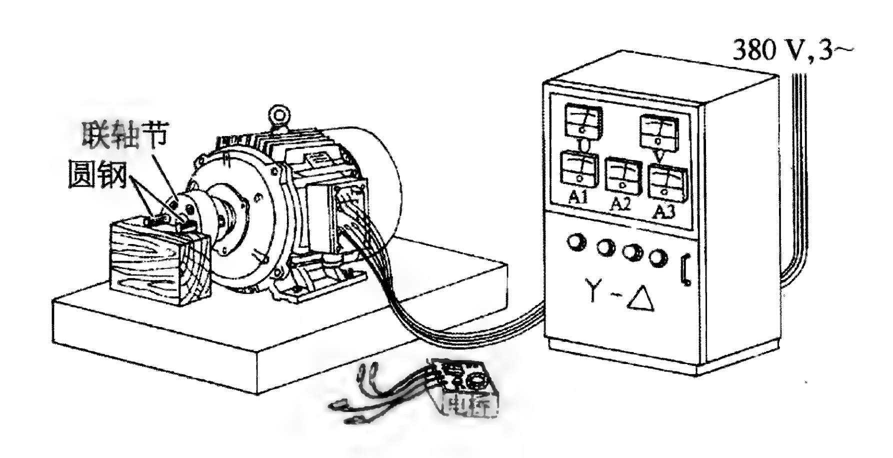


图 10-4 采用Y-△降压法间接测量堵转数据的试验

并求出其平均值 I_K(A),测取三相输入功率 P_K(W)。

(3) 第(2)步完成并切断电源后,尽快测取一相绕组的直流电阻R_K(Ω)。

(4) 利用以上所得数据和该电机的同步转速 n_s(r/min),用下式计算求取试验时的堵转转矩 T_K(N·m),

$$T_K = 9.55(0.95P_K - 3I_K^2R_K)/n_s$$

(5) 若电压刚好为额定值,则△接加额定电压时的堵转电流 I_{KN}和堵转转矩 T_{KN}分别为:

$$I_{KN} = 3I_K;\ T_{KN} = 3T_K$$

(6) 若试验时的电压U_K不等于额定电压U_N,则就利用以下两式进行修正。

$$I_{KN} = 3I_K(U_N/U_K);\ T_{KN} = 3I_K(U_K/U_N)^2$$

10.3 空载试验

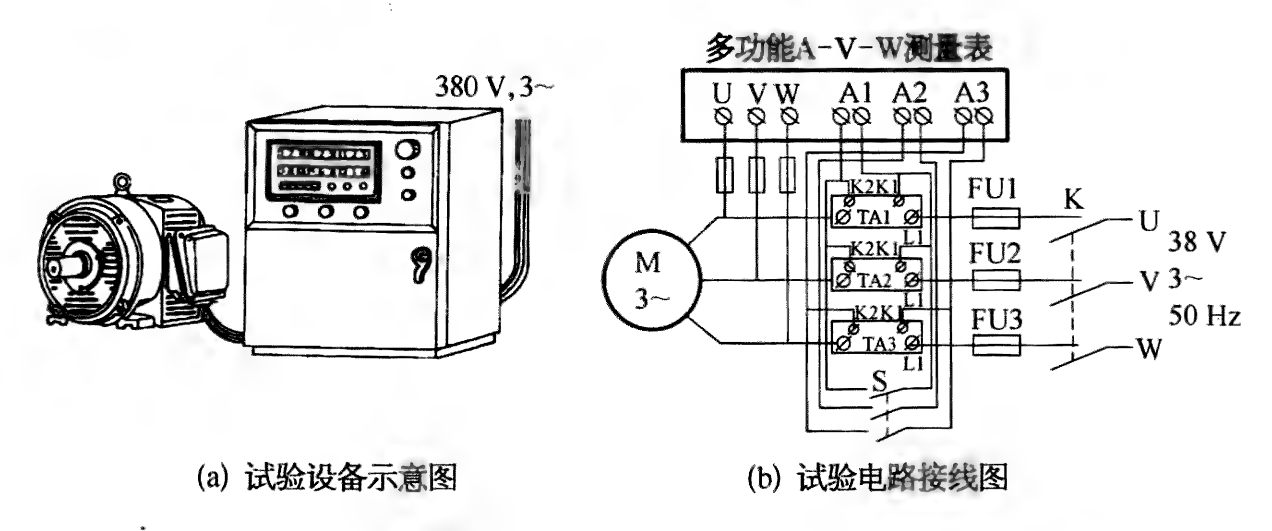
空载试验是电机在额定频率和额定电压时,不带任何负载,测量其输入电流和输入功率的试验。和堵转试验一样,空载试验也可分为简单的检查试验和测取空载特性的型式试验。在修理行业,一般只进行简单的检查试验。

一台电机空载电流的大小和三相平衡情况可反映定子绕组的匝数及接线等参数是否正确、铁心质量是否良好、定转子是否对齐和气隙是否均匀正确等;空载损耗的大小则在很大程度上能直观地反映出机械装配以及轴承的质量。

在进行空载试验的同时，还可以进行电机振动和噪声的初步检查。

1. 试验设备和线路

检查性空载试验的设备及线路如图 10－5 所示（其中使用了三相复合电量数字仪表测量三相电压、三相电流和三相功率，开关 S 为电流互感器输出短路开关，在电机起动时闭合，起动后断开，用于防止较大的起动电流对仪表的冲击，称为“封表开关”），如有条件，应配备一台调压器。



(a) 试验设备示意图　　(b) 试验电路接线图

图 10－5　空载试验设备和线路

2. 试验方法

（1）根据电源设备的能力，采用可行的降压法（如简单的Y－△法）或直接满压法将电机起动起来。

（2）保持额定电压运行 0.5～1 h，使轴承等部件的运转达到稳定状态。其间，要观测电流及输入功率的变化情况以及电机的振动与噪声是否正常。之后，记录三相输入电流及功率，若电压不等于额定值，还应记录试验电压。

3. 结果的判定

（1）计算三相电流的不平衡度，应在±10％之内。

（2）和同规格电机或该电机原出厂记录的相应值对比，空载电流的偏差不应超过±10％；空载损耗不应超过±20％。

附录 11 给出了国内某厂 Y 系列（IP44）和 Y2 系列（IP54）电机空载电流的统计值，可供参考。

（3）若试验时的电压 U_{0S} 不等于额定电压 U_N，则可通过下式将试验所得电流 I_{0S} 修正到 U_N 时的数值 I_{0N}。

$$I_{0N} = (U_N/U_{0S})^2 I_{0S}$$

10.4 绕线转子电动机的转子开路电压测定试验

绕线转子的转子额定电压实际上就是开路电压，用U_2表示，是指电机定子接通额定频率的额定电压、转子三相外接引线开路时，在两个集电环间的电压。

试验时，事先将转子用工具堵住，给定子绕组加额定电压。之后用电压表测量每两个集电环间的电压，即开路电压，如图 10-6 所示。

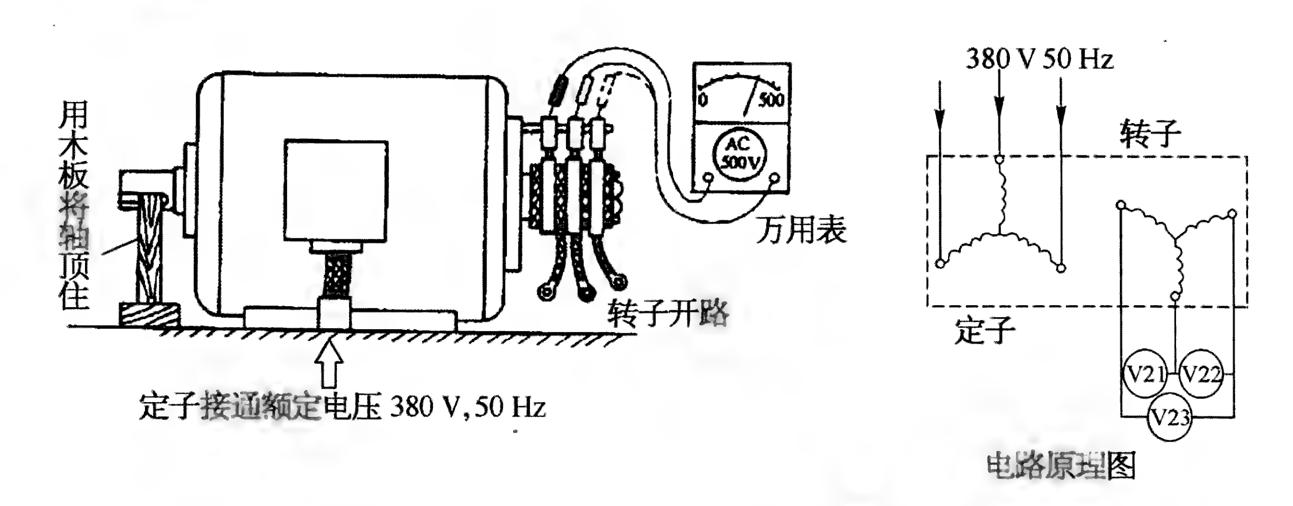


图 10-6 绕线转子电机的转子电压测量示意图

有时用电压比来表示，设电压比为K，定子电压为U_1，则

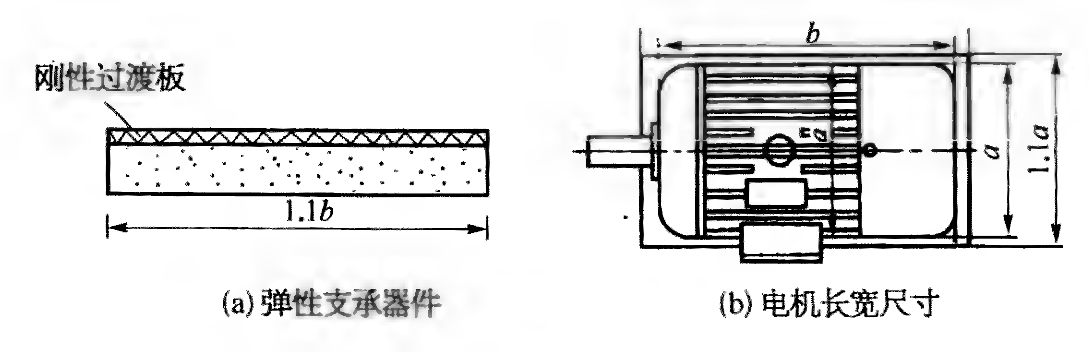
$$K=\frac{U_1}{U_2}$$

10.5 振动的测定试验

电机振动测试方法及限值的现行国家标准编号是 GB 10068—2008。

10.5.1 电机振动测试时的安装要求

在进行振动测试时，电机可放在一块弹性垫上，称为“弹性安装”，弹性垫最好使用乳胶海绵，并在海绵上放一块过渡板用于支撑电机，一般用环氧玻璃布板裁制。海绵垫和过渡板的面积应为电机投影面积的 1.2 倍(相当于长和宽各为电机投影面长和宽的 1.1 倍)。如图 10-7a 和图10-7b所示。

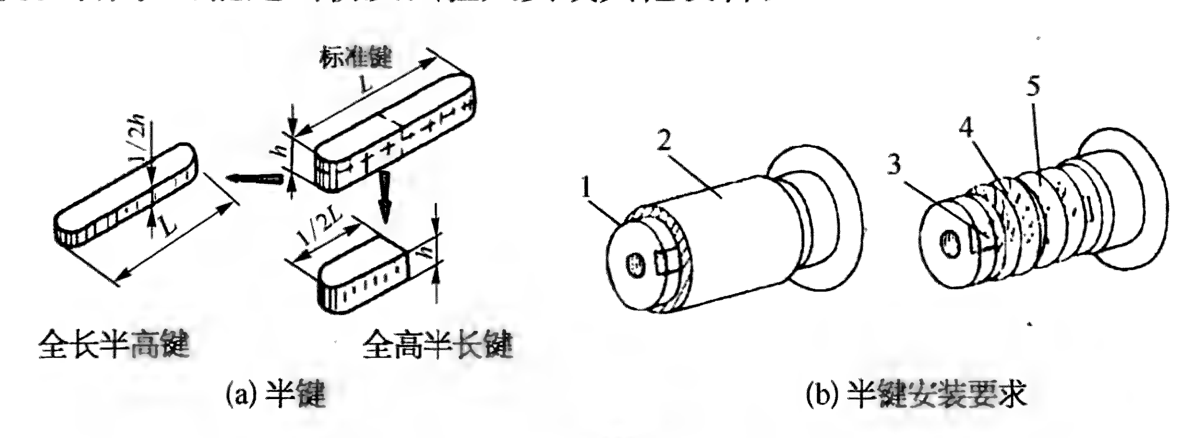


(a) 弹性支承器件　　(b) 电机长宽尺寸

图 10－7　测振动用弹性支承器件

对机座号较大的电机，可放厚度为 20 mm 以上的橡胶垫（可用两层 12 mm 厚的普通橡胶叠起）。电机也可直接放在较大的平台上，并与平台联结（用螺栓或压板），称为“刚性安装”。

测量振动时，电机轴伸上必须安装一个高度或长度等于该电机所用标准键的一半的键，即半键，如图 10－8a 所示，应尽可能使用图中给出的高度为标准键 1/2 的“全长半高”型半键。将半键牢固地安装在轴伸键槽中，可用胶布等绑扎，如图 10－8b 所示。此点应特别注意，特别是 2 极电机。否则，可能甩出伤及试验人员或其他设备。



(a) 半键　　(b) 半键安装要求

图 10－8　半键和安装要求

1、3—半键；2—尼龙套管；4—橡皮筋；5—胶布

10.5.2　振动测定方法

将电机安装稳定后，接通额定频率额定电压的电源，空载运行适当时间。

将测振仪功能键拨到需要的位置（如速度 v），量程设在适当档上。将其传感器放在图 10－9 所示的①～⑤个位置，记录各点的读数。

若电机无外风扇，则第⑥点应在非轴伸端轴向位置；否则，在测完①～⑤点后，停机并改变接线，使电机通电反转后，在原第①点处测量，即为第⑥点。

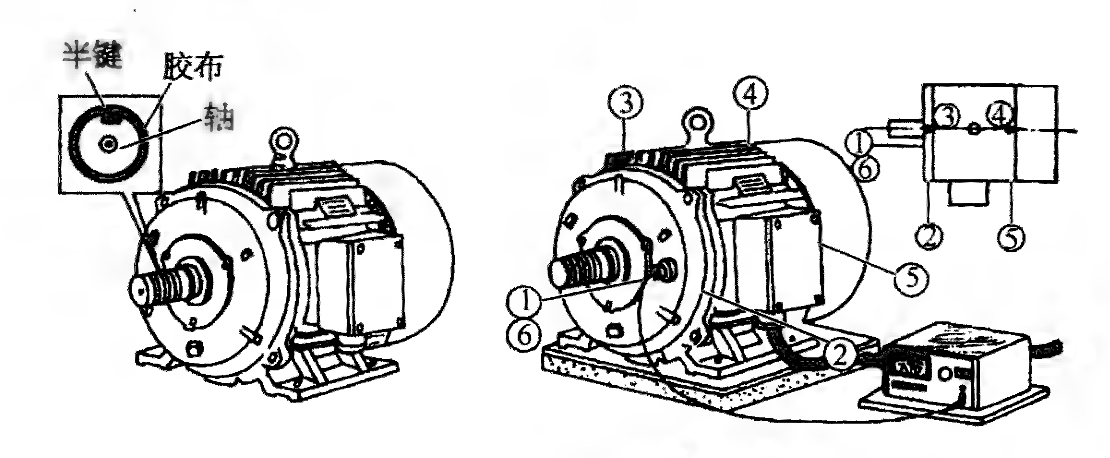


图 10－9 小型电机振动测点布置图

取所测 6 点中最大的数值作为被电机的振动值。该值不大于标准限值为合格。

GB 10068—2008 中振动限值的规定见附录 12。

10.6 噪声的测定试验

电机噪声测试方法及限值的现行国家标准编号是 GB 10068.1—2006 和 GB 10068.3—2008。

10.6.1 电机噪声测试时的安装要求

测试电机的噪声时，电机的安装要求同振动的测试，只是可不带半键，但对其周围的环境却有严格的要求，在修理行业虽然可以从简，但也应达到以下条件。

(1) 环境的噪声要低于被测电机噪声 4 dB 以上。

(2) 安放电机的地面应平整、结实。以电机为圆心，半径为 3 m 的范围内应无其他能反射声音的物体，所以最好在空旷的屋外进行测试。

10.6.2 噪声级的测定试验方法

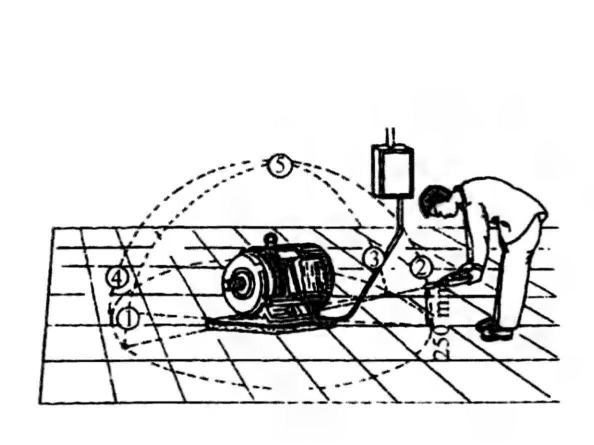
1. 试验步骤

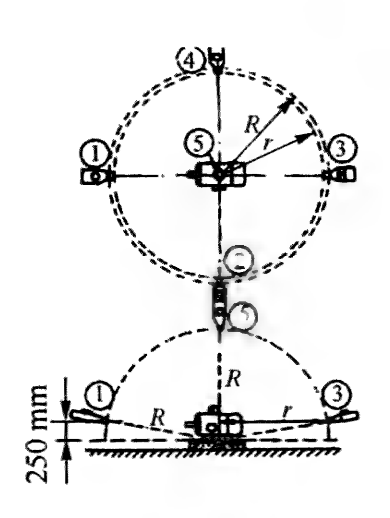
(1) 电机运转之前，测取环境噪声值。

(2) 将电机按要求放置后，接额定频率和额定电压的电源，空载运行适当时间。

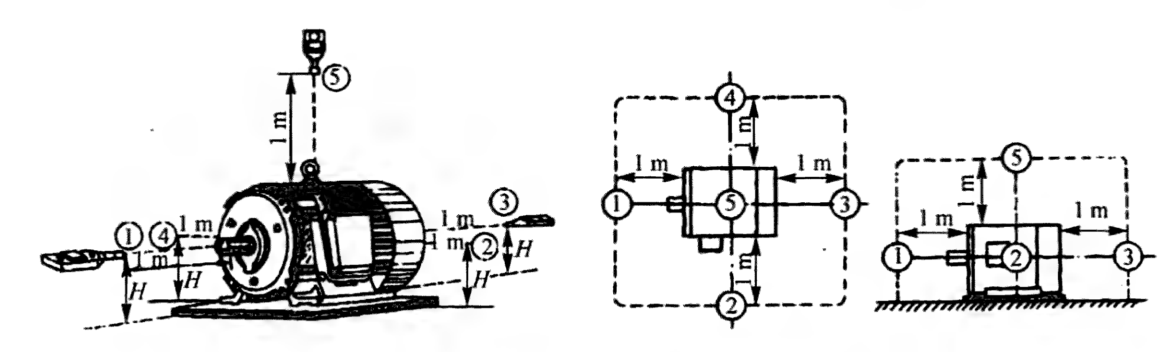
(3) 对于中心高在 180 mm 及以下的电机，应在以电机底面中心为球心，半径为 $R=1$ m 的半球面(想象中的)上布点进行测量(如图 10－10a

所示）；对于中心高超过 355 mm 的电机，在距电机表面为 1 m 的平行六面体面（想象中的）上布点（如图 10－10b 所示）；上述两个中心高之间的电机，可任用上述两种布点方法之一。对于中心高在 225 mm 及以下的电机，声级计测头距地面高度为 0.25 m；对于中心高超过 225 mm 的电机，声级计测头距地面高度为被测电机的轴中心高（H），但不得低于 0.25 m。对于较大的电机，可在图 10－10 所示圆周布点数目的基础上适当增加。





(a) 半球面布点法



(b) 平行六面体布点法

图 10－10 噪声级测点布置图

2. 确定试验结果

(1) 求出所测点数值的平均值（声压级）L_{ps}。

(2) 若环境噪声低于 L_{ps} 10 dB 以上，则该值即为被测电机的声压的数值 L_p；若差值在 4～10 dB 之间，则应减去一个修正值（见表 10－3）。

表 10－3 环境噪声修正值 (dB)

电机噪声级与环境噪声级之差	4	5	6	7	8	9	10
修正值	2.2	1.7	1.3	1.0	0.8	0.6	0.4

例如，环境噪声声压级为 55 dB，实测噪声声压级 L_{ps}＝62 dB，则其差

值为 7 dB,从表 10－3 查出修正值为 1 dB,则被测电机噪声声压级 $L_p = L_{ps} - 1\ dB = 62\ dB - 1\ dB = 61\ dB$。

(3) 若要求转换成声功率级 L_W,则将 L_P再加上一个数值 L_{PW},这个值是通过较复杂的计算而求得的(详见有关资料)。80～500 机座号的 Y 系列(IP44)和 Y2 系列(IP54)电机各档次的 L_{PW}值见表 10－4(每个机座号的平均值,供参考)。

表 10－4　Y 和 Y2 系列(IP44 和 IP54)电机噪声声功率级与声压级的差值 L_{PW}

机座号	≤355	200	225	280	315	355	400	450	500
布点方法	半球面法	平行六面体法							
L_{PW}(dB)	8	10	12	12.2	12.7	13.3	13.7	14.5	16

例如,实测 $L_P = 65\ dB$,电机机座号为 160,应用半球面布点法,则其声功率级为:

$$L_W = L_P + L_{PW} = 65\ dB + 8\ dB = 73\ dB$$

电机机座号为 225,实测 $L_P = 75\ dB$,若用半球面布点法,则其声功率级为:

$$L_W = L_P + L_{PW} = 75\ dB + 8\ dB = 83\ dB$$

若用平行六面体布点法,则其声功率级为:

$$L_W = L_P + L_{PW} = 75\ dB + 11\ dB = 86\ dB$$

(4) 所得 L_P或 L_W不超过标准限值为合格。

电机的噪声级限值的有关标准见附录 13、附录 14 和附录 15。

10.7　制动电动机制动转矩的测定试验

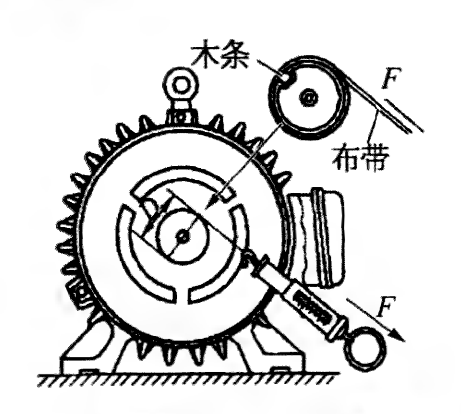
对制动电动机的制动器,主要考核两个指标,一个是制动转矩,另一个是制动时间。

一般情况下,因制动时间很短,只有零点几秒,所以无专门仪器时很难测得准确。而制动转矩的测定则较容易。

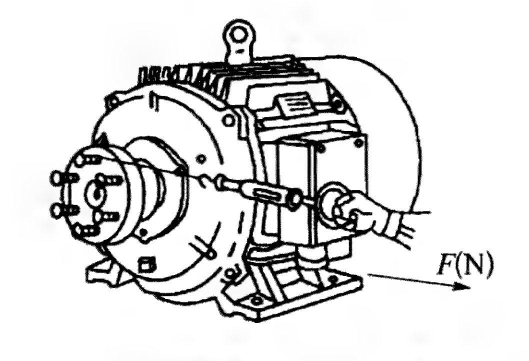
测定制动转矩时,电动机应处于制动状态。对于断电制动的电动机,因电动机不通电,所以可在任一环境中进行试验。测定方法有如下 3 种。

1. 弹簧秤拉绳法

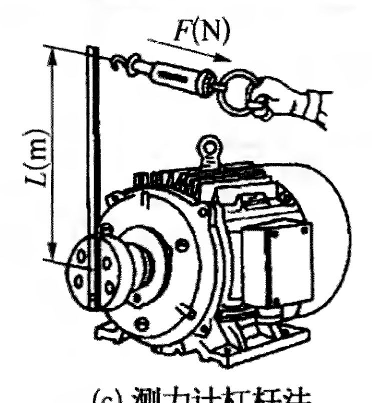
将一段结实的布带按图 10－11a 所示压绕在电动机轴伸上。其末端系在弹簧下端钩上。



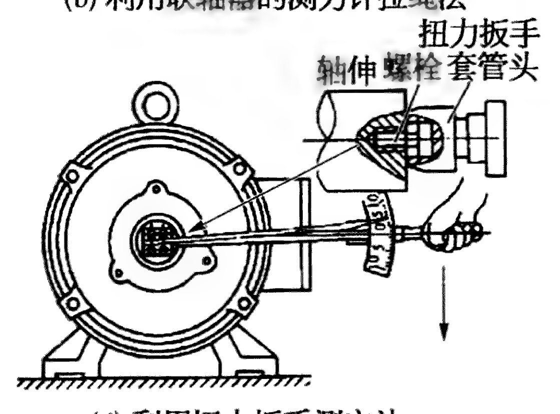
(a) 利用轴伸的测力计拉绳法



(b) 利用联轴器的测力计拉绳法



(c) 测力计杠杆法



(d) 利用扭力扳手测定法

图 10－11 制动器的制动转矩测定方法

拉弹簧秤，时刻关注其指示值，记下电动机轴伸刚刚转动时的数值 F(N)。

弹簧秤显示数值 F(N)与轴伸半径 $D/2$(m) 之积，即为该电动机的制动转矩 M(N·m)，即

$$M = F\frac{D}{2}$$

因此方法的力臂($D/2$)较短，所以需用的力 F 则较大。因此只能用于较小电动机。

对于略大一些电动机，可安上联轴器，拉绳挂在联轴器柱销上等方法加长力臂，如图 10－11b 所示。

2. 弹簧秤杠杆法

通过联轴器或在轴伸端面打两个孔(最好是螺孔)等方法，将一段扁

铁等材料的一端固定在轴伸端，作为力臂。另一端挂弹簧秤。量出轴伸端面中心到挂弹簧秤点的长度 L(m)，即力臂，如图 10－11c 所示。

通过制动器的手动释放机构使制动器处于释放状态后，将力臂拉到水平位置，记下此时弹簧秤的读数 F_0(N)，若力臂与地面垂直，则可不必测量 P_0。将制动器恢复到制动状态，用力向上拉弹簧秤，记下电动机轴伸刚刚转动时弹簧秤的读数 P(N)，则制动转矩 M(N·m)为

$$M=(F-F_0)L$$

3. 用扭力扳手测定法

扭力扳手又称为测力扳手(详见 2.4.5)。图 10－11d 是一种传统的机械式类型。

使用扭力扳手测定制动转矩时，需将轴伸端面中心孔加大后攻丝(有的电机本身即为螺孔，称为 C 型中心孔)。然后，拧入一个螺栓，用扳手将其拧到不能再拧为止。

用扭力扳手朝紧的方向拧上述螺栓。注意观测其指示值，当电机轴刚刚被拧动时，记下扳手所指数值，此值即为该被试电机的制动转矩。

此方法因普通扭力扳手的精度较差，所以测量误差也较大。

10.8 转速调整范围检查

对 YCT 系列电磁调速电动机，应进行调速范围检查。按运行要求连接电源和控制器，如图 10－12 所示。

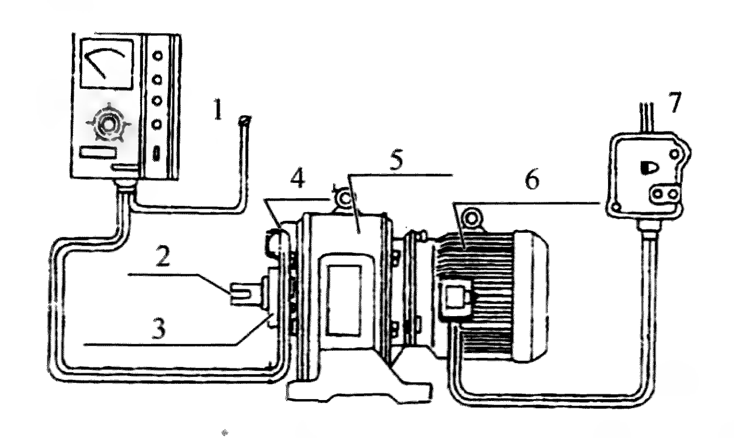


图 10－12 YCT 系列调速电动机与控制器的连接

1—控制电源；2—负载轴；3—测速发电机；4—进线盒；5—转差离合器；6—拖动电动机；7—三相电源

先将转速表的指针调整到零位，检查控制器接线，应接触良好。在控制器接通电源后，旋动“转速调节旋钮”，用万用表直流电压挡(DCV 250 V)测量其输出插座 3 和 4 两孔之间的电压，若在 0～90 V 之间连续变动，则认为开环时工作基本正常。

起动原动机，待运转正常后，调节调速装置得到转速最低和最高值，两者之间的范围即为空载调速范围。

附录

附录 1　深沟球轴承的径向游隙(GB/T 4604—1993)

内径范围(mm)	游隙组别(代号)				
	2 组(C2)	0 组	3 组(C3)	4 组(C4)	5 组(C5)
	游隙范围(μm)				
>6～10	0～7	2～13	8～23	14～29	20～37
>10～18	0～9	3～18	11～25	18～33	25～45
>18～24	0～10	5～20	13～28	20～36	28～48
>24～30	1～11	5～20	13～23	23～41	30～53
>30～40	1～11	6～20	15～33	28～46	40～64
>40～50	1～11	6～23	18～36	30～51	45～73
>50～65	1～15	8～28	23～43	38～61	55～90
>65～80	1～15	10～30	25～51	46～71	65～105
>80～100	1～18	12～36	30～58	53～84	75～120
>100～120	2～20	15～41	36～66	61～97	90～140
>120～140	2～23	18～48	41～81	71～114	105～160
>140～160	2～23	18～53	46～91	81～130	120～180
>160～180	2～25	20～61	53～102	91～147	135～200
>180～200	2～30	25～71	63～117	107～163	150～230
>200～225	2～35	25～85	75～140	125～195	175～265
>225～250	2～40	30～95	85～160	145～225	205～300
>250～280	2～45	35～105	90～170	155～245	225～340

附录 2 我国和国外主要轴承生产厂生产的电机常用滚动轴承型号对比表(内径 10 mm 及以上)

<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="3">轴承名称</th><th colspan="5">型 号</th></tr>
<tr><th colspan="2">中国</th><th colspan="2">日本</th><th rowspan="2">瑞典 SKF</th></tr>
<tr><th>新</th><th>旧</th><th>NSK</th><th>NTN</th></tr>
<tr><td rowspan="13">向心深沟球轴承</td><td rowspan="2">开启式</td><td>61800</td><td>1000800</td><td>6800</td><td>6800</td><td>61800</td></tr>
<tr><td>6200</td><td>200</td><td>6200</td><td>6200</td><td>6200</td></tr>
<tr><td>一面带防尘盖</td><td>61800-Z</td><td>106008</td><td>6800Z</td><td>6800Z</td><td>—</td></tr>
<tr><td rowspan="2">两面带防尘盖</td><td>61800-2Z</td><td>1080800</td><td>6800ZZ</td><td>6800ZZ</td><td>—</td></tr>
<tr><td>6200-2Z</td><td>80200</td><td>6200ZZ</td><td>6200ZZ</td><td>6200-2Z</td></tr>
<tr><td rowspan="4">一面带密封圈</td><td>61800-RS</td><td>1160800</td><td>6800D</td><td>6800LU</td><td>61800-RS1</td></tr>
<tr><td>6200-RS</td><td>160200</td><td>6200DU</td><td>6200LU</td><td>6200-RS1</td></tr>
<tr><td>61800-RZ</td><td>1160800K</td><td>6800V</td><td>6800LB</td><td>61800-RZ</td></tr>
<tr><td>6200-RZ</td><td>160200K</td><td>6200V</td><td>6200LB</td><td>6200-RZ</td></tr>
<tr><td rowspan="4">两面带防尘盖</td><td>61800-2RS</td><td>1180800</td><td>6800DD</td><td>6800LLU</td><td>61800-2RS1</td></tr>
<tr><td>6200-2RS</td><td>180200</td><td>6200DDU</td><td>6200LLU</td><td>6200-2RS1</td></tr>
<tr><td>61800-2RZ</td><td>1180800K</td><td>6800VV</td><td>6800LLB</td><td>61800-2RZ</td></tr>
<tr><td>6200-2RZ</td><td>180200K</td><td>6200VV</td><td>6200LB</td><td>6200-2RZ</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="3">内圈无挡边圆柱滚子轴承</td><td>NU1000</td><td>32100</td><td>NU1000</td><td>NU1000</td><td>NU1000</td></tr>
<tr><td>NU200</td><td>32200</td><td>NU200</td><td>NU200</td><td>—</td></tr>
<tr><td>NU200E</td><td>32200E</td><td>NU200ET</td><td>NU200E</td><td>NU200EC</td></tr>
<tr><td colspan="2">推力球轴承</td><td>51100</td><td>8100</td><td>51100</td><td>51100</td><td>51100</td></tr>
<tr><td colspan="2">推力圆柱滚子轴承</td><td>81100</td><td>9100</td><td>—</td><td>81100</td><td>81100</td></tr>
</table>

注：NSK——日本精工公司(Nippon Seiko K. K. Japan)。
NTN——日本东洋轴承公司(the Toyo Bearing Mfg Co. Ltd. ,Japan)。
SKF——瑞典滚珠轴承制造公司(Svenska Kullager Fabriken)。

附录 3 Y(IP44)系列三相异步电动机现用和曾用轴承牌号

机座号	轴承牌号			
	主轴伸端		非主轴伸端	
	2 极	4、6、8、10 极	2 极	4、6、8、10 极
80	6204－2R/Z2(180204K－Z2)			
90	6205－2R/Z2(180205K－Z2)			
100	6206－2R/Z2(180206K－Z2)			
112	6206－2R/Z2(180306K－Z2)			
132	6208－2R/Z2(180308K－Z2)			
160	6209/Z2(309－Z2)			
180	6311/Z2(311－Z2)			
200	6312/Z2(312－Z2)			
225	6313/Z2(313－Z2)			
250	6314/Z2(314－Z2)			
280	6314/Z2(314－Z2)	6317/Z2(317－Z2)	6314/Z2(314－Z2)	6317/Z2(317－Z2)
315	6316/Z2(316－Z2)	NU319(2319)	6316/Z2(316－Z2)	6319/Z2(319－Z2)
355	6317/Z2(317－Z2)	NU322(2322)	6317/Z2(316－Z2)	6322/Z2(322－Z2)

注：括弧"()"内的为以前曾用过的轴承行业标准 ZBJ11027—1989 中规定的轴承牌号。实际上轴承的尺寸系列是相同的，只是因为我国对滚动轴承的牌号组成规定进行了修改，因此牌号进行了变动。

附录 4 Y2(IP54)系列三相异步电动机现用和曾用轴承牌号

机座号	轴承牌号			
	主轴伸端		非主轴伸端	
	2 极	4、6、8、10 极	2 极	4、6、8、10 极
80～100	同 Y(IP44)系列			
112	6206－2Z(180206K－Z2)			
132	6208－2Z(180208K－Z2)			

(续表)

机座号	轴承牌号			
	主轴伸端		非主轴伸端	
	2极	4、6、8、10极	2极	4、6、8、10极
160	6209－2Z (180209K－Z2)	6309－2Z (180309K－Z2)	6209－2Z (180209K－Z2)	
180	6211(211－ZV2)	6311－2Z(311－ZV2)	6211(211－ZV2)	
200	6212(212－ZV2)	6212(312－ZV2)	6212(212－ZV2)	
225	6312(312－ZV2)	6313(313－ZV2)	6312(312－ZV2)	
250	6313(313－ZV2)	6314(314－ZV2)	6313(313－ZV2)	
280	6314(314－ZV2)	6317(316－ZV2)	6314(314－ZV2)	
315	6317(317－ZV2)	NU319(2319－ZV2)	6317(317－ZV2)	6319(319－ZV2)
355	6319(319－ZV2)	NU322(2322－ZV2)	6319(319－ZV2)	6322(322－ZV2)

注：同附录3。

附录5 T分度铜-康铜和K分度镍铬-镍硅热电偶分度表

温度(℃)	电动势(mV)		温度(℃)	电动势(mV)		温度(℃)	电动势(mV)	
	T分度	K分度		T分度	K分度		T分度	K分度
0	0.000	0.000	70	2.908	2.851	140	6.204	5.735
10	0.391	0.397	80	3.357	3.267	150	6.702	6.138
20	0.789	0.798	90	3.813	3.682	160	7.207	6.540
30	1.196	1.203	100	4.277	4.096	170	7.718	6.940
40	1.611	1.612	110	4.749	4.508	180	8.235	7.340
50	2.035	2.023	120	5.227	4.920	190	8.757	7.739
60	2.467	2.436	130	5.712	5.328	200	9.286	8.138

附录 6　BA1 和 BA2(Pt100)型铂热电阻分度表

温度(℃)	电阻(Ω)		温度(℃)	电阻(Ω)		温度(℃)	电阻(Ω)	
	BA1	BA2		BA1	BA2		BA1	BA2
−100	27.44	59.65	40	53.26	115.78	180	77.99	196.54
−90	29.33	63.75	50	55.06	119.70	190	79.71	173.29
−80	31.21	67.84	60	56.86	123.60	200	81.43	177.03
−70	33.08	71.91	70	58.65	127.49	210	83.15	180.76
−60	34.94	75.96	80	60.43	131.37	220	84.86	184.48
−50	36.80	80.00	90	62.21	135.24	230	85.56	188.18
−40	38.65	84.03	100	63.99	139.10	240	88.26	191.88
−30	40.50	88.04	110	65.76	142.95	250	89.96	195.56
−20	42.34	92.04	120	67.52	146.78	260	91.64	199.23
−10	44.17	96.03	130	69.28	150.60	270	93.33	202.89
0	46.00	100.00	140	71.03	154.41	280	95.00	206.53
10	47.82	103.96	150	72.78	158.21	290	96.68	210.17
20	49.64	107.91	160	74.52	162.00	300	98.34	213.79
30	51.54	111.85	170	76.26	165.78	310	100.01	217.40

附录 7　Y(IP44)和 Y2(IP54)系列三相异步电动机轴伸尺寸及圆跳动公差

(mm)

机座号	极数	轴伸直径及公差	轴伸圆跳动限值	键、键槽宽度及公差	键高及公差
63M	2,4	$11^{+0.008}_{-0.003}$	≤0.04	$4^{+0}_{-0.030}$	$4^{+0}_{-0.075}$ ($^{+0}_{-0.030}$)
71M	2～6	$14^{+0.008}_{-0.003}$		$5^{+0}_{-0.030}$	$5^{+0}_{-0.075}$ ($^{+0}_{-0.030}$)
80	2～8	$19^{+0.009}_{-0.004}$		$6^{+0}_{-0.030}$	$6^{+0}_{-0.075}$ ($^{+0}_{-0.030}$)
90S		$24^{+0.009}_{-0.004}$		$8^{+0}_{-0.036}$	$7^{+0}_{-0.09}$
90L					
100L		$28^{+0.009}_{-0.004}$			
112M					

（续表）

机座号	极数	轴伸直径及公差	轴伸圆跳动限值	键、键槽宽度及公差	键高及公差
132S	2～8	$38^{+0.018}_{+0.002}$	≤0.05	$10^{+0}_{-0.036}$	$8^{+0}_{-0.09}$
132M					
160M		$42^{+0.018}_{+0.002}$		$12^{+0}_{-0.043}$	
160L					
180M		$48^{+0.018}_{+0.002}$		$14^{+0}_{-0.043}$	$9^{+0}_{-0.09}$
180L					
200L		$55^{+0.030}_{+0.011}$	≤0.06	$16^{+0}_{-0.043}$	$10^{+0}_{-0.09}$
225S	4,8	$60^{+0.030}_{+0.011}$		$18^{+0}_{-0.043}$	$11^{+0}_{-0.11}$
225M	2	$65^{+0.030}_{+0.011}$		$16^{+0}_{-0.043}$	$10^{+0}_{-0.09}$
	4～8	$75^{+0.030}_{+0.011}$		$18^{+0}_{-0.043}$	$11^{+0}_{-0.11}$
250M	2	$65^{+0.030}_{+0.011}$			
	4～8	$80^{+0.030}_{+0.011}$			
280S	2	$65^{+0.030}_{+0.011}$			
280M	4～8	$80^{+0.030}_{+0.011}$		$20^{+0}_{-0.052}$	$12^{+0}_{-0.11}$
315S 315M 315L	2	$65^{+0.030}_{+0.011}$		$18^{+0}_{-0.043}$	$11^{+0}_{-0.11}$
	4～10	$80^{+0.030}_{+0.011}$		$22^{+0}_{-0.052}$	$14^{+0}_{-0.11}$
355M 355L	2	$75^{+0.030}_{+0.011}$		$22^{+0}_{-0.052}$	$12^{+0}_{-0.11}$
	4～10	$95^{+0.035}_{+0.013}$	≤0.07	$25^{+0}_{-0.052}$	$14^{+0}_{-0.11}$

注：括号“()”内的公差值适用平头普通平键。

附录 8 凸缘端盖止口对电机轴线的径向和轴向圆跳动公差

止口直径 N(mm)		圆跳动公差(mm)	止口直径 N(mm)		圆跳动公差(mm)
公称尺寸	公差带		公称尺寸	公差带	
60	+0.012 −0.007	0.080	230	+0.016 −0.013	0.100
70			250		0.125
80			300	±0.016	
95	+0.013 −0.009		350	±0.018	
110		0.100	450	±0.020	
130	+0.014 −0.011		550	±0.022	0.16
180			680	±0.025	

附录 9　Y 系列(IP44)三相异步电动机堵转转矩 T_K^* (倍数)、堵转电流 I_K^* (倍数)限值

<table>
<tr><th rowspan="3">功率
(kW)</th><th colspan="10">电　机　极　数</th></tr>
<tr><th colspan="2">2</th><th colspan="2">4</th><th colspan="2">6</th><th colspan="2">8</th><th colspan="2">10</th></tr>
<tr><th>T_K^*</th><th>I_K^*</th><th>T_K^*</th><th>I_K^*</th><th>T_K^*</th><th>I_K^*</th><th>T_K^*</th><th>I_K^*</th><th>T_K^*</th><th>I_K^*</th></tr>
<tr><td>0.55</td><td>—</td><td>—</td><td>2.4</td><td rowspan="2">6.0</td><td>—</td><td>—</td><td rowspan="4">—</td><td rowspan="4">—</td><td rowspan="15">—</td><td rowspan="15">—</td></tr>
<tr><td>0.75</td><td rowspan="6">2.2</td><td>6.5</td><td rowspan="3">2.3</td><td rowspan="9">2.0</td><td rowspan="2">5.5</td></tr>
<tr><td>1.1</td><td rowspan="17">7.0</td><td rowspan="2">6.5</td></tr>
<tr><td>1.5</td><td rowspan="2">6.0</td></tr>
<tr><td>2.2</td><td rowspan="7">2.2</td><td rowspan="15">7.0</td><td rowspan="5">2.0</td><td rowspan="2">5.5</td></tr>
<tr><td>3</td><td rowspan="16">6.5</td></tr>
<tr><td>4</td><td rowspan="2">6.0</td></tr>
<tr><td>5.5</td><td rowspan="12">2.0</td></tr>
<tr><td>7.5</td><td>5.5</td></tr>
<tr><td>11</td><td>1.7</td><td rowspan="7">6.0</td></tr>
<tr><td>15</td><td rowspan="3">1.8</td><td>1.8</td></tr>
<tr><td>18.5</td><td rowspan="3">2.0</td><td>1.7</td></tr>
<tr><td>22</td><td rowspan="4">1.8</td></tr>
<tr><td>30</td><td>1.7</td></tr>
<tr><td>37</td><td rowspan="2">1.9</td><td rowspan="3">1.8</td></tr>
<tr><td>45</td><td rowspan="3">1.4</td><td rowspan="3">6.0</td></tr>
<tr><td>55</td><td>2.0</td><td rowspan="4">1.6</td><td rowspan="3">6.5</td></tr>
<tr><td>75</td><td rowspan="2">1.9</td><td rowspan="4">1.6</td></tr>
<tr><td>90</td><td rowspan="5">—</td><td rowspan="5">—</td></tr>
<tr><td>110</td><td rowspan="4">1.8</td><td rowspan="4">6.8</td><td rowspan="4">1.8</td><td rowspan="4">6.8</td><td>6.3</td></tr>
<tr><td>132</td><td rowspan="3">—</td><td rowspan="3">—</td></tr>
<tr><td>160</td><td rowspan="2">—</td><td rowspan="2">—</td></tr>
<tr><td>200</td></tr>
</table>

注：T_K^* =堵转转矩/额定转矩；I_K^* =堵转电流/额定电流。摘自 JB/T 10391—2008。

附录 10 某厂 Y 系列(IP44)三相异步电动机相电阻统计平均值(25℃时)

机座号	功率(kW)	相电阻(Ω)	机座号	功率(kW)	相电阻(Ω)	机座号	功率(kW)	相电阻(Ω)
801-2	0.75	8.22	355L1-2	280	0.008 47	315L2-4	200	0.009 81
802-2	1.1	5.62	355L2-2	315	0.008 17	355M1-4	220	0.008 39
90S-2	1.5	3.9	801-4	0.55	12.16	355M2-4	250	0.007 28
90L-2	2.2	2.35	802-4	0.75	8.471	355L1-4	280	0.006 76
100L-2	3	1.51	90S-4	1.1	5.452	355L2-4	315	8.60
112M-2	4	3.06	90L-4	1.5	3.858	400L1-4	355	5.95
132S1-2	5.5	2.39	100L1-4	2.2	2.474	90S-6	0.75	3.77
132S2-2	7.5	1.47	100L2-4	3	1.665	90L-6	1.1	2.26
160M1-2	11	0.63	112M-4	4	2.935	100L-6	1.5	1.510
160M2-2	15	0.45	132S-4	5.5	2.013	112M-6	2.2	2.26
160L-2	18.5	0.33	132M-4	7.5	1.342	132S-6	3	1.53
180M-2	22	0.28	160M-4	11	0.772	132M1-6	4	3.19
200L1-2	30	0.185	160L-4	15	0.503	132M2-6	5.5	2.15
200L2-2	37	0.138	180M-4	18.5	0.419	160M-6	7.5	0.587
225M-2	45	0.107	180L-4	22	0.167 7	180L-6	15	0.486
250M-2	55	0.070	200L-4	30	0.130 0	200L1-6	18.5	0.361
280S-2	75	0.050	225S-4	37	0.088 1	200L2-6	22	0.218
280M-2	90	0.042	225M-4	45	0.073 8	225M-6	30	0.193
315S-2	110	0.022 6	250M-4	55	0.047 8	250M-6	37	0.143
315M1-2	132	0.017 6	280S-4	75	0.017 74	280S-6	45	0.107
315M2-2	160	0.012 7	280M-4	90	0.025 50	280M-6	55	0.060 72
315L1-2	160	0.010 9	315S-4	110	0.018 28	315M2-6	110	0.033 55
315L2-2	200	0.010 8	315M1-4	132	0.014 68	315M3-6	132	0.025 16
355M1-2	220	0.011 1	315M2-4	160	0.013 97	355M1-6	160	0.020 21
355M2-2	250	0.010 8	315L1-4	160	0.011 89	355M2-6	185	0.017 83

（续表）

机座号	功率(kW)	相电阻(Ω)	机座号	功率(kW)	相电阻(Ω)	机座号	功率(kW)	相电阻(Ω)
355M3－6	200	0.015 60	200L－8	15	0.604	355L1－8	185	0.016 34
355L1－6	220	0.014 11	225S－8	18.5	0.041 1	355L2－8	200	0.014 34
355L2－6	250	0.010 10	225M－8	22	0.293 5	400L1－8	250	0.010 06
400L1－6	315	0.007 61	250M－8	30	0.238 2	400L2－8	315	0.007 80
400L2－6	355	0.006 09	280S－8	37	0.176 1	315S－10	45	0.096 45
400L3－6	400	0.005 31	280M－8	45	0.130 0	315M1－10	55	0.072 13
132S－8	2.2	2.22	315S－8	55	0.080 5	315M2－10	75	0.047 81
132M－8	3	1.51	315M1－8	75	0.052 3	355M1－10	90	0.031 94
160M1－8	4	2.52	315M2－8	90	0.036 1	355M2－10	110	0.020 50
160M2－8	5.5	1.80	315M3－8	110	0.031 87	355L1－10	132	0.024 91
160L－8	7.5	1.27	355M1－8	132	0.023 47	400L2－12	200	0.015 10
180L－8	11	0.94	355M2－8	160	0.019 31			

附录 11　某厂 Y(IP44)和 Y2(IP54)系列三相异步电动机空载电流统计平均值

（A）

机座号	额定电流	空载电流	机座号	额定电流	空载电流	机座号	额定电流	空载电流
801－2	1.8	0.95	160L－2	35.5	10.7	315M2－2	292	81.8
802－2	2.5	1.10	180M－2	42.2	13.5	315L1－2	292	81.8
90S－2	3.4	3.40	200L1－2	56.9	17.6	315L－2	338	91.3
90L－2	4.8	1.67	200L2－2	69.8	21.6	315L2－2	365	98.6
100L－2	6.4	2.01	225M－2	83.9	21.8	355M1－2	397	103
112M－2	8.2	3.12	250M－2	103	30.9	355M2－2	444	102
132S1－2	11.1	3.66	280S－2	140	39.2	355L1－2	497	109
132S2－2	15	4.50	280M－2	167	45.1	355L2－2	557	123
160M1－2	21.8	6.98	315S－2	203	60.9	801－4	1.5	1.04
160M2－2	29.4	9.11	315M1－2	242	65.3	802－4	2.0	1.36

（续表）

机座号	额定电流	空载电流	机座号	额定电流	空载电流	机座号	额定电流	空载电流
90S-4	2.7	1.70	90L-6	3.2	2.34	132M-8	7.7	5.08
90L-4	3.7	2.15	100L-6	4.0	2.80	160M1-8	9.9	5.74
100L1-4	5.0	2.75	112M-6	5.6	3.75	160M2-8	13.3	7.58
100L2-4	6.8	3.60	132S-6	7.2	4.18	160L-8	17.7	9.91
112M-4	8.8	4.66	132M1-6	9.4	5.36	180L-8	25.1	13.8
132S-4	11.6	5.34	132M2-6	12.6	6.93	200L-8	34.1	17.4
132M-4	15.4	7.08	160M-6	17.0	8.50	225S-8	41.3	19.8
160M-4	22.6	8.81	160L-6	24.6	12.3	225M-8	47.6	22.8
160L-4	30.3	11.5	180L-6	31.4	15.1	250M-8	63	28.4
180M-4	35.9	13.6	200L1-6	37.7	17.0	280S-8	78.2	36.8
180L-4	42.5	16.2	200L2-6	44.6	19.6	280M-8	93.2	41.9
200L-4	56.8	20.4	225M-6	59.5	21.4	315S-8	114	43.3
225S-4	70.4	22.5	250M-6	72.0	21.6	315M1-8	152	63.8
225M-4	84.2	25.5	280S-6	85.4	27.3	315M2-8	179	73.4
250M-4	102.5	30.8	280M-6	105	32.4	315M3-8	218	89.4
280S-4	139.7	41.9	315S-6	141	49.4	355M1-8	260	107
280M-4	164.3	47.6	315M1-6	169	54.1	355M2-8	315	126
315S-4	201	70.4	315M2-6	205	67.6	355L1-8	363	145
315M1-4	240	81.6	315M3-6	246	84	355L2-8	392	157
315M2-4	289	83.8	355M1-6	300	105	400L1-8	511	200
315L1-4	289	83.8	355M2-6	346	121	315S-10	101	53.5
315L2-4	361	116	355M3-6	374	135	315M1-10	123	65.2
355M1-4	406	118	355L1-6	409	131	315M2-10	164	95.0
355M2-4	460	124	355L2-6	465	158	355M1-10	191	95.5
355L1-4	514	149	400L1-6	589	163	355M2-10	230	98.9
355L2-4	576	179	400L2-6	664	211	355L1-10	275	138
400L1-4	655	150	400L3-6	748	240	355L2-10	333	153
90S-6	2.3	1.68	132S-8	5.8	3.94	400L2-12	465	300

附录 12 电机振动限值(摘自 GB 10068—2008)

等级	机座号	$56 \leqslant H \leqslant 132$			$132 < H \leqslant 280$			>280		
	安装方式	位移(μm)	速度(mm/s)	加速度(m/s^2)	位移(μm)	速度(mm/s)	加速度(m/s^2)	位移(μm)	速度(mm/s)	加速度(m/s^2)
A	自由悬挂	25	1.6	2.5	35	2.2	3.5	45	2.8	4.4
	刚性安装	21	1.3	2.0	29	1.8	2.8	37	2.3	3.6
B	自由悬挂	11	0.7	1.1	18	1.1	1.7	29	1.8	2.8
	刚性安装	—	—	—	14	0.9	1.4	24	1.5	2.4

注：1. 等级 A 适用于对振动无特殊要求的电机。
2. 等级 B 适用于对振动有特殊要求的电机。轴中心高$<$132 mm 的电机，不考虑刚性安装。
3. 应考虑到检测仪器可能有±10%的测量误差。
4. 一台电机，自身平衡较好且振动强度等级符合本表的要求，但安装在现场中因受各种因素，如地基不平、负载机械的反作用以及电源中的纹波电流影响等，也会显示较大的振动。另外，由于所驱动的诸单元的固有频率与电机旋转体微小残余不平衡极为接近也会引起振动，在这些情况下，不仅只是对电机，而且对装置中的每一单元都要检验。

附录 13 旋转电机(附录 14 规定的除外)空载 A 计权声功率级限值(GB 10069.3—2008)

额定转速 n (r/min)	$n \leqslant 960$		$960 < n \leqslant 1\,320$		$1\,320 < n \leqslant 1\,900$		$1\,900 < n \leqslant 2\,360$		$2\,360 < n \leqslant 3\,150$		$3\,150 < n \leqslant 3\,750$	
冷却方式类型	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
防护型式类型	C	D	C	D	C	D	C	D	C	D	C	D
输出功率 P_N(kW)	A 计权声功率级限值(dB)											
$1 \leqslant P_N \leqslant 1.1$	73	73	76	76	77	78	79	81	81	84	82	88
$1.1 < P_N \leqslant 2.2$	74	74	78	78	81	82	83	85	85	88	86	91
$2.2 < P_N \leqslant 5.5$	77	78	81	82	85	86	86	90	89	93	93	95
$5.5 < P_N \leqslant 11$	81	82	85	85	88	90	90	93	93	97	97	98
$11 < P_N \leqslant 22$	84	86	88	88	91	94	93	97	96	100	97	100
$22 < P_N \leqslant 37$	87	90	91	91	94	98	96	100	99	102	101	102
$37 < P_N \leqslant 55$	90	93	94	94	97	100	98	102	101	104	103	104
$55 < P_N \leqslant 110$	93	96	97	98	100	103	101	104	103	106	105	106

（续表）

额定转速 n (r/min)	$n\leqslant 960$		$960<n\leqslant 1\,320$		$1\,320<n\leqslant 1\,900$		$1\,900<n\leqslant 2\,360$		$2\,360<n\leqslant 3\,150$		$3\,150<n\leqslant 3\,750$	
$110<P_N\leqslant 220$	97	99	100	102	103	106	103	107	105	109	107	110
$220<P_N\leqslant 550$	99	102	103	105	106	108	106	109	107	111	110	113

注：1. 表中冷却方式类型一栏的“A”代表 IC01、IC11、IC21 三种方式；“B”代表 IC411、IC511、IC611 三种方式。
2. 表中防护型式类型一栏的“C”代表 IP22、IP23 两种方式；“D”代表 IP44、IP55 两种方式。

附录 14 冷却方式为 IC411、IC511、IC611 三种方式的单速三相笼型异步电动机空载 A 计权声功率级限值(GB 10069.3—2008)

中心高 (mm)	A 计权声功率级限值/[dB(A)]			
	2 极	4 极	6 极	8 极
90	78	66	63	63
100	82	70	64	64
112	83	72	70	70
132	85	75	73	71
160	87	77	73	72
180	88	80	77	76
200	90	83	80	79
225	92	84	80	79
250	92	85	82	80
280	94	88	85	82
315	98	94	89	88
355	100	95	94	92
400	100	96	95	94
450	100	98	98	96
500	103	99	98	97
560	105	100	99	98

注：1. 冷却方式为 IC01、IC11、IC21 的电机声功率级将提高如下：2 极和 4 极电机，+7 dB(A)；6 极和 8 极电机，+4 dB(A)。
2. 中心高 315 mm 以上的 2 极和 4 极电机声功率级值指风扇结构为单向旋转的，其他值为双向旋转的风扇结构。
3. 60 Hz 电机声功率级值增加：2 极电机，+5 dB(A)；4 极、6 极和 8 极电机，+3 dB(A)。

附录 15 Y(IP44)和 Y2(IP54) 系列三相异步电动机噪声声功率级限值

[dB(A)]

功率(kW)	电机极数									
	2		4		6		8		10	
	Y	Y2	Y	Y2	Y	Y2	Y	Y2	Y	Y2
0.18						—		52		
0.25			—	—				52		
0.37	—	—			—	54		56		
0.55			67	58		54	—	56		
0.75	71	67	67	58	65	57		59		
1.1	71	67	67	61	65	57		59		
1.5	75	72	67	61	67	61		61		
2.2	75	72	70	64	67	64	66	64		
3	79	76	70	64	71	69	66	64		
4	79	77	74	65	71	69	69	68	—	—
5.5	83	80	78	71	71	69	69	68		
7.5	83	80	78	71	75	73	72	68		
11	87	86	82	75	75	73	72	70		
15	87	86	82	75	78	73	75	73		
18.5	87	86	82	76	78	76	75	73		
22	92	89	82	76	78	76	75	73		
30	95	92	84	79	81	76	78	75		
37	95	92	84	81	81	78	78	76		
45	97	92	84	81	84	80	78	76	8	82
55	97	93	86	83	84	80	87	82	87	82
75	99	94	90	86	92	85	87	82	87	82
90	99	94	90	86	92	85	87	82		82
110	104	96	98	93	92	85	87	82		90
132	104	96	101	93	92	85		90		90
160	104	99	101	97		92		90	—	90
200	104	99	101	97		92	—	90		
250		103		101	—	92				—
315	—	103	—	101		—		—		

注：1. Y 系列电机的标准摘自 JB/T 10391—2008，该技术条件中的噪声级标准分两个级别，即 1 级和 2 级，1 级比 2 级要求高(限值低 5 dB 左右)，本表所列为 2 级。

2. Y2 系列电机的标准摘自 JB/T 8680—1998，该技术条件中的噪声级标准分空载和负载量两部分，本表所列为空载部分。

附录 16 电磁线型号的含义

绝缘层材料				导 体	
绝 缘 漆	绝缘纤维	其他绝缘层	绝缘特征	材 料	特 性
Q—油性漆 QA—聚胺酯漆 QG—硅有机漆 QH—环氧漆 QQ—缩醛漆 QXY—聚酰胺酰亚胺漆 QY—聚酰亚胺漆 QZ—聚酯漆 QZY—聚酯亚胺漆	M—棉纱 SB—玻璃丝 SR—人造丝 ST—天然丝 Z—纸	V—聚氯乙烯 YM—氧化膜	B—编制 C—醇酸胶粘漆浸渍 E—双层 G—硅有机胶粘漆浸渍 J—加厚 N—自粘性 F—耐制冷性 S—彩色 S—三层	L—铝线 TWC—无磁性铜	B—扁线 D—带箔 J—绞制 R—柔软

注：当型号字母后加“－1”时，表示薄漆层，加“－2”时，表示厚漆层。例如：QZL—1 为薄漆层聚酯漆包铝线。

附录 17 QZ—1、QZ—2 型高强度漆包圆铜线规格

铜线直径 (mm)	标称截面积 (mm^2)	最大外径		单位质量 (kg/km)	单位电阻 (20℃，Ω/km)
		QZ—1 (mm)	QZ—2 (mm)		
0.10	0.007 85	0.125	0.13	0.076	2 270
0.11	0.009 50	0.135	0.14	0.092	1 813
0.12	0.011 31	0.145	0.15	0.108	1 523
0.13	0.013 25	0.155	0.16	0.126	1 296
0.14	0.015 37	0.165	0.17	0.145	1 118
0.15	0.017 67	0.175	0.18	0.167	974
0.16	0.020 11	0.19	0.20	0.19	856
0.17	0.022 7	0.20	0.21	0.213	758
0.18	0.025 45	0.20	0.22	0.237	672
0.19	0.028 35	0.22	0.23	0.264	606

（续表）

铜线直径 (mm)	标称截面积 (mm^2)	最大外径		单位质量 (kg/km)	单位电阻 (20℃，Ω/km)
		QZ—1 (mm)	QZ—2 (mm)		
0.20	0.031 42	0.23	0.24	0.292	548
0.21	0.034 64	0.24	0.25	0.321	497
0.23	0.041 55	0.265	0.28	0.386	415
0.25	0.049 1	0.29	0.30	0.454	351
0.27	0.057 3	0.31	0.32	0.509	300
0.28	0.061 6	0.32	0.33	0.514	280
0.29	0.066 1	0.33	0.34	0.608	260
0.31	0.075 5	0.35	0.36	0.693	228
0.33	0.085 5	0.37	0.39	0.784	201
0.35	0.096 2	0.39	0.41	0.884	178.8
0.38	0.113 4	0.42	0.44	1.04	151.8
0.40	0.125 7	0.44	0.46	1.202	136
0.41	0.132	0.45	0.47	1.208	130.3
0.42	0.138 5	0.46	0.48	1.254	124
0.44	0.152 1	0.47	0.50	1.39	113.2
0.45	0.160 2	0.49	0.51	1.438	110.3
0.47	0.173 5	0.51	0.53	1.58	99.12
0.49	0.188 6	0.52	0.54	1.626	90.3
0.50	0.196 4	0.54	0.56	1.776	91.8
0.51	0.204	0.55	0.57	1.88	84.4
0.53	0.221	0.58	0.60	2.03	77.1
0.55	0.238	0.59	0.62	2.20	72.3
1.00	0.785	1.07	1.11	6.80	21.9
1.03	0.833 2	1.10	1.14	7.22	20.63
1.04	0.849	1.11	1.15	7.60	20.3
1.06	0.883	1.14	1.17	7.73	19.7
1.08	0.916	1.16	1.19	8.14	18.79

（续表）

铜线直径 (mm)	标称截面积 (mm^2)	最大外径		单位质量 (kg/km)	单位电阻 (20℃，Ω/km)
		QZ—1 (mm)	QZ—2 (mm)		
1.12	0.985	1.2	1.23	8.9	17.47
1.13	1.002	—	—	9.05	17.17
1.16	1.057	1.23	1.25	9.4	16.28
1.18	1.093	1.26	1.29	9.9	15.73
1.2	1.131	1.28	1.31	10.5	15.22
1.25	1.227	1.33	1.36	10.9	14.02
1.3	1.327	1.38	1.41	11.8	12.96
1.33	1.389	1.41	1.42	12.35	12.38
1.35	1.431	1.43	1.46	12.7	12.01
1.37	1.474 1	1.45	1.48	13.08	11.66
1.4	1.539	1.48	1.51	13.7	11.18
1.45	1.651	1.53	1.56	14.7	10.41
1.5	1.767	1.58	1.61	15.7	9.74
1.56	1.911	1.64	1.67	17.3	9.0
1.6	2.011	1.69	1.72	18.1	8.53
1.62	2.06	1.71	1.72	18.32	8.36
1.68	2.22	1.76	1.79	19.7	7.75
1.7	2.271	1.79	1.82	20.43	7.0
1.74	2.38	1.82	1.85	21	7.23
1.8	2.545	1.89	1.92	23	6.9
1.81	2.57	1.9	1.94	23.5	6.7
1.88	2.78	1.96	2.0	24.7	6.19
1.9	2.834	1.99	2.02	25.4	6.0
1.95	2.99	2.04	2.07	26.5	5.76
2.02	3.2	2.13	2.14	28.5	5.38
2.1	3.4	2.25	2.39	30.8	4.97
2.26	4.01	2.46	2.57	35.7	4.29
2.34	4.3	2.51	2.61	38.0	4.0

附录 18 扁铜线和漆包扁铜线规格

扁铜线尺寸 厚×宽 (mm×mm)	漆包扁铜线 最大尺寸 厚×宽 (mm×mm)	漆包线 单位质量 (kg/km)	扁铜线尺寸 厚×宽 (mm×mm)	漆包扁铜线 最大尺寸 厚×宽 (mm×mm)	漆包线 单位质量 (kg/km)
0.9×2.5	1.04×2.66	18.9	1.0×3.15	1.14×3.32	26.65
0.9×2.65	1.04×2.81	20.12	1.0×3.35	1.14×3.52	28.46
0.9×2.8	1.04×2.96	21.34	1.0×3.55	1.14×3.72	30.27
0.9×3.0	1.04×3.17	22.99	1.0×3.75	1.14×3.92	32.08
0.9×3.15	1.04×3.32	24.21	1.0×4.0	1.14×4.17	34.34
0.9×3.35	1.04×3.52	25.84	1.0×4.25	1.14×4.72	36.6
0.9×3.55	1.04×3.72	27.47	1.0×4.5	1.14×4.67	38.86
0.9×3.75	1.04×3.92	29.1	1.0×4.75	1.14×4.93	41.13
0.9×4.0	1.04×4.17	31.14	1.0×5.0	1.15×5.19	43.47
0.9×4.25	1.04×4.42	33.17	1.0×5.3	1.15×5.49	46.19
0.9×4.5	1.04×4.67	35.21	1.0×5.6	1.15×5.79	48.91
0.9×4.75	1.04×4.93	37.26	1.0×6.0	1.15×6.19	52.53
0.95×3.15	1.09×3.32	44.28	1.0×6.3	1.15×6.5	55.27
0.95×3.35	1.09×3.72	19.84	1.06×2.5	1.2×2.66	22.11
0.95×4.0	1.09×4.17	22.42	1.06×2.8	1.2×2.96	24.98
0.95×4.5	1.09×4.67	25.44	1.06×3.15	1.2×3.32	28.34
0.95×5.0	1.09×5.19	28.87	1.06×3.55	1.2×3.72	32.17
0.95×5.6	1.09×4.17	32.74	1.06×4.0	1.2×4.17	36.48
0.95×4.5	1.09×4.67	37.04	1.06×4.5	1.2×4.67	41.27
0.95×5.0	1.10×5.19	41.43	1.06×5.0	1.21×5.19	45.15
0.95×5.6	1.10×5.79	46.6	1.06×5.6	1.21×5.79	51.9
1.0×2.5	1.14×2.66	20.77	1.06×6.3	1.21×6.5	58.64
1.0×2.65	1.14×2.79	22.12	1.12×2.5	1.26×2.66	23.45
1.0×2.8	1.14×2.96	23.48	1.12×2.65	1.26×2.81	24.97
1.0×3.0	1.14×3.17	25.3	1.12×2.8	1.26×2.96	26.48

（续表）

扁铜线尺寸 厚×宽 (mm×mm)	漆包扁铜线 最大尺寸 厚×宽 (mm×mm)	漆包线 单位质量 (kg/km)	扁铜线尺寸 厚×宽 (mm×mm)	漆包扁铜线 最大尺寸 厚×宽 (mm×mm)	漆包线 单位质量 (kg/km)
1.12×3.75	1.26×3.92	36.1	1.25×2.65	1.40×2.81	28.06
1.12×4.0	1.26×4.17	38.62	1.25×2.8	1.4×2.96	29.75
1.12×4.25	1.26×4.42	41.15	1.25×3.0	1.4×3.17	32.02
1.12×4.5	1.26×4.67	43.67	1.25×3.15	1.4×3.32	33.71
1.12×3.0	1.26×3.17	28.52	1.25×3.35	1.4×3.52	35.96
1.12×3.15	1.26×3.32	30.03	1.25×3.55	1.4×3.72	38.21
1.12×3.35	1.26×3.52	32.05	1.25×3.75	1.4×3.92	40.46
1.12×3.55	1.26×3.72	34.07	1.25×4.0	1.4×4.17	43.28
1.12×4.75	1.26×4.93	46.22	1.25×4.25	1.4×4.42	46.1
1.12×5.0	1.27×5.19	48.83	1.25×4.5	1.4×4.67	48.91
1.12×5.3	1.27×5.49	51.86	1.25×4.75	1.4×4.93	51.75
1.12×5.6	1.27×5.79	54.9	1.25×5.0	1.4×5.19	54.15
1.12×6.0	1.27×6.19	58.95	1.25×5.3	1.4×5.49	58.03
1.12×6.3	1.27×6.5	62.01	1.25×5.6	1.41×5.79	61.42
1.12×6.7	1.27×6.9	66.05	1.25×6.0	1.41×6.19	65.93
1.12×7.1	1.27×7.3	70.11	1.25×6.3	1.41×6.5	69.34
1.18×2.5	1.32×2.66	24.8	1.25×6.7	1.41×6.9	73.85
1.18×2.8	1.32×2.96	27.99	1.25×7.1	1.41×7.3	78.36
1.18×3.15	1.32×3.32	31.72	1.25×7.5	1.41×7.7	82.88
1.18×3.55	1.32×3.72	35.98	1.25×8.0	1.41×8.2	88.52
1.18×4.0	1.32×4.17	40.76	1.32×2.5	1.47×2.66	27.94
1.18×4.5	1.32×4.67	46.08	1.32×2.8	1.47×2.96	31.50
1.18×5.0	1.32×5.19	51.5	1.32×3.15	1.47×3.32	35.68
1.18×5.6	1.32×5.79	57.9	1.32×3.55	1.47×3.72	40.43
1.18×6.3	1.33×6.5	65.38	1.32×4.0	1.47×4.17	45.78
1.18×7.1	1.39×7.3	73.91	1.32×4.5	1.47×4.67	51.22
1.25×2.5	1.40×2.66	26.37	1.32×5.0	1.48×5.19	57.77

（续表）

扁铜线尺寸 厚×宽 (mm×mm)	漆包扁铜线 最大尺寸 厚×宽 (mm×mm)	漆包线 单位质量 (kg/km)	扁铜线尺寸 厚×宽 (mm×mm)	漆包扁铜线 最大尺寸 厚×宽 (mm×mm)	漆包线 单位质量 (kg/km)
1.32×5.6	1.48×5.79	64.91	1.5×2.8	1.65×2.96	36.01
1.32×6.3	1.48×6.5	73.27	1.5×3.15	1.65×3.32	40.74
1.32×7.0	1.48×7.3	82.79	1.5×3.55	1.65×3.72	46.14
1.32×8.0	1.48×8.2	93.51	1.5×4.0	1.65×4.17	52.21
1.4×2.5	1.55×2.66	29.73	1.5×4.5	1.65×4.67	58.35
1.4×2.65	1.55×2.81	31.62	1.5×5.0	1.65×5.19	65.80
1.4×2.8	1.55×2.96	33.51	1.5×5.6	1.66×5.79	73.91
1.4×3.0	1.55×3.17	36.04	1.5×6.3	1.66×6.5	83.38
1.4×3.15	1.55×3.32	37.93	1.5×7.1	1.66×7.3	94.19
1.4×3.35	1.55×3.52	40.45	1.5×8.0	1.66×8.2	106.34
1.4×3.55	1.55×3.72	42.97	1.5×9.0	1.66×9.2	119.85
1.4×3.75	1.55×3.92	45.49	1.6×2.5	1.75×2.66	34.20
1.4×4.0	1.55×4.17	48.64	1.6×2.65	1.75×2.81	36.36
1.4×4.25	1.55×4.42	51.79	1.6×2.8	1.75×2.96	38.52
1.4×4.5	1.55×4.67	54.94	1.6×3.0	1.75×3.17	41.40
1.4×4.75	1.55×4.93	58.11	1.6×3.15	1.75×3.32	43.56
1.4×5.0	1.56×5.19	61.34	1.6×3.35	1.75×3.52	46.44
1.4×5.3	1.56×5.49	65.13	1.6×3.55	1.75×3.72	49.31
1.4×5.6	1.56×5.79	68.91	1.6×3.75	1.75×3.92	52.19
1.4×6.0	1.56×6.19	73.96	1.6×4.0	1.75×4.17	55.78
1.4×6.3	1.56×6.5	77.76	1.6×4.25	1.75×4.42	59.37
1.4×6.7	1.56×6.9	82.81	1.6×4.5	1.75×4.67	62.97
1.4×7.1	1.56×7.3	87.86	1.6×4.75	1.75×4.93	66.58
1.4×7.5	1.56×7.7	92.91	1.6×5.0	1.76×5.19	70.26
1.4×8.0	1.56×8.2	99.21	1.6×5.3	1.76×5.49	74.58
1.4×8.5	1.56×8.7	105.52	1.6×5.6	1.76×5.79	78.90
1.4×9.0	1.56×9.2	111.83	1.6×6.0	1.76×6.19	84.66
1.5×2.5	1.65×2.66	31.87	1.6×6.3	1.76×6.5	89.00

（续表）

扁铜线尺寸 厚×宽 (mm×mm)	漆包扁铜线 最大尺寸 厚×宽 (mm×mm)	漆包线 单位质量 (kg/km)	扁铜线尺寸 厚×宽 (mm×mm)	漆包扁铜线 最大尺寸 厚×宽 (mm×mm)	漆包线 单位质量 (kg/km)
1.6×6.7	1.76×6.9	94.76	1.8×3.75	1.95×3.92	57.55
1.6×7.1	1.76×7.3	100.52	1.8×4.0	1.95×4.17	61.59
1.6×7.5	1.76×7.7	106.27	1.8×4.25	1.95×4.42	65.62
1.6×8.0	1.76×8.2	113.47	1.8×4.5	1.95×4.67	69.66
1.6×8.5	1.76×8.7	120.67	1.8×4.7	1.95×4.93	73.72
1.6×9.0	1.76×9.2	127.87	1.8×5.0	1.96×5.19	77.85
1.6×9.5	1.76×9.7	135.07	1.8×5.3	1.96×5.49	82.70
1.6×10.0	1.76×10.23	142.26	1.8×5.6	1.96×5.79	87.55
1.7×2.5	1.85×2.66	35.11	1.8×6.0	1.96×6.19	94.02
1.7×2.8	1.85×2.96	39.68	1.8×6.3	1.96×6.5	98.90
1.7×3.15	1.85×3.32	45.04	1.8×6.7	1.96×6.9	105.37
1.7×3.55	1.85×3.72	51.15	1.8×7.1	1.96×7.3	111.84
1.7×4.0	1.85×4.17	58.04	1.8×7.5	1.96×7.7	118.31
1.7×4.5	1.85×4.67	65.65	1.8×8.0	1.96×8.2	126.39
1.7×5.0	1.85×5.19	73.39	1.8×8.5	1.96×8.7	134.48
1.7×5.6	1.85×5.79	82.56	1.8×9.0	1.96×9.2	142.57
1.7×6.3	1.86×6.5	93.28	1.8×9.5	1.96×9.7	150.65
1.7×7.1	1.86×7.3	105.51	1.8×10.0	1.96×10.23	158.86
1.7×8.0	1.86×8.2	119.26	1.9×2.8	2.05×2.96	44.69
1.7×9.0	1.86×9.2	134.55	1.9×3.15	2.05×3.32	50.67
1.7×10.0	1.86×10.23	149.95	1.9×3.55	2.05×3.72	57.49
1.8×2.5	1.95×2.66	37.34	1.9×4.0	2.05×4.17	65.16
1.8×2.65	1.95×2.81	39.77	1.9×4.5	2.05×4.67	73.68
1.8×2.8	1.95×2.96	42.19	1.9×5.0	2.06×5.19	82.31
1.8×3.0	1.95×3.17	45.39	1.9×5.6	2.06×5.79	92.55
1.8×3.15	1.95×3.32	47.86	1.9×6.3	2.06×6.5	104.52
1.8×3.35	1.95×3.52	51.09	1.9×7.1	2.06×7.3	118.70
1.8×3.55	1.95×3.72	54.32	1.9×8.0	2.06×8.2	133.52

（续表）

扁铜线尺寸厚×宽(mm×mm)	漆包扁铜线最大尺寸厚×宽(mm×mm)	漆包线单位质量(kg/km)	扁铜线尺寸厚×宽(mm×mm)	漆包扁铜线最大尺寸厚×宽(mm×mm)	漆包线单位质量(kg/km)
1.9×9.0	2.06×9.2	150.59	2.12×4.5	2.28×4.67	82.54
1.9×10.0	2.06×10.23	167.77	2.12×5.0	2.29×5.19	92.13
2.0×2.8	2.16×2.96	47.21	2.12×5.6	2.29×5.79	103.54
2.0×3.0	2.16×3.17	50.81	2.12×6.3	2.29×6.5	116.87
2.0×3.15	2.16×3.32	53.50	2.12×7.1	2.29×7.3	132.09
2.0×3.35	2.16×3.52	57.00	2.12×8.0	2.29×8.2	149.21
2.0×3.55	2.16×3.72	60.68	2.12×9.0	2.29×9.2	168.23
2.0×3.75	2.16×3.92	64.26	2.12×10.0	2.29×10.23	187.37
2.0×4.0	2.16×4.17	68.75	2.24×3.15	2.4×3.32	60.26
2.0×4.25	2.16×4.42	73.37	2.24×3.35	2.4×3.52	64.28
2.0×4.5	2.16×4.67	77.72	2.24×3.55	2.4×3.72	68.29
2.0×4.75	2.16×4.93	82.22	2.24×3.75	2.4×3.92	72.3
2.0×5.0	2.17×5.19	86.77	2.24×4.0	2.4×4.17	77.32
2.0×5.3	2.17×5.49	92.16	2.24×4.25	2.4×4.42	82.32
2.0×5.6	2.17×5.79	97.54	2.24×4.5	2.4×4.67	87.85
2.0×6.0	2.17×6.19	104.72	2.24×4.75	2.4×4.93	92.39
2.0×6.3	2.17×6.5	110.13	2.24×5.0	2.41×5.19	92.48
2.0×6.7	2.17×6.9	117.31	2.24×5.3	2.41×5.49	103.51
2.0×7.1	2.17×7.3	124.29	2.24×5.6	2.41×5.79	109.53
2.0×7.5	2.17×7.7	131.68	2.24×6.0	2.41×6.19	117.57
2.0×8.0	2.17×8.2	140.65	2.24×6.3	2.41×6.5	123.62
2.0×8.5	2.17×8.7	149.63	2.24×6.7	2.41×6.9	131.65
2.0×9.0	2.17×9.2	158.60	2.24×7.1	2.41×7.3	139.68
2.0×9.5	2.17×9.7	167.58	2.24×7.5	2.41×7.7	147.72
2.0×10.0	2.17×10.23	176.68	2.24×8.0	2.41×8.2	157.76
2.12×3.15	2.28×3.32	56.88	2.24×8.5	2.41×8.7	167.8
2.12×3.55	2.28×3.72	64.48	2.24×9.0	2.41×9.2	177.85
2.12×4.0	2.28×4.17	73.03	2.24×9.5	2.41×9.7	187.89

（续表）

扁铜线尺寸 厚×宽 (mm×mm)	漆包扁铜线 最大尺寸 厚×宽 (mm×mm)	漆包线 单位质量 (kg/km)	扁铜线尺寸 厚×宽 (mm×mm)	漆包扁铜线 最大尺寸 厚×宽 (mm×mm)	漆包线 单位质量 (kg/km)
2.24×10	2.41×10.23	198.06	2.5×9.5	2.67×9.7	208.21
2.36×3.55	2.52×3.72	70.42	2.5×10	2.67×10.23	219.54
2.36×4.0	2.52×4.17	79.93	2.65×4.0	2.81×4.17	90.28
2.36×4.5	2.52×4.67	94.9	2.65×4.5	2.81×4.67	102.14
2.36×5.0	2.53×5.19	101.16	2.65×5.0	2.82×5.19	114.10
2.36×5.6	2.53×5.79	113.85	2.65×5.6	2.82×5.79	128.33
2.36×6.3	2.53×6.5	128.68	2.65×6.3	2.82×6.5	144.97
2.36×7.1	2.53×7.3	145.60	2.65×7.1	2.82×7.3	163.95
2.36×8.0	2.53×8.2	164.64	2.65×8.0	2.82×8.2	185.31
2.36×9.0	2.53×9.2	185.7	2.65×9.0	2.82×9.2	209.04
2.36×10	2.53×10.23	207.07	2.65×10.0	2.82×10.23	232.9
2.5×3.55	2.66×3.72	74.86	2.8×4.0	2.96×4.17	95.64
2.5×3.75	2.66×3.92	79.33	2.8×4.25	2.96×4.42	101.9
2.5×4.0	2.66×4.17	84.93	2.8×4.5	2.96×4.67	108.17
2.5×4.25	2.66×4.42	90.52	2.8×4.75	2.96×4.93	114.45
2.5×4.5	2.66×4.97	96.12	2.8×5.0	2.97×5.19	120.79
2.5×4.75	2.66×7.93	101.74	2.8×5.3	2.97×5.49	128.31
2.5×5.0	2.67×5.19	107.40	2.8×5.6	2.97×5.79	135.83
2.5×5.3	2.67×5.49	114.12	2.8×6.0	2.97×6.19	145.85
2.5×5.6	2.67×5.79	120.84	2.8×6.3	2.97×6.5	153.4
2.5×6.0	2.67×6.19	129.80	2.8×6.7	2.97×6.9	163.42
2.5×6.3	2.67×6.5	136.54	2.8×7.1	2.97×7.3	173.45
2.5×6.7	2.67×6.9	145.50	2.8×7.5	2.97×7.7	183.47
2.5×7.1	2.67×7.3	154.46	2.8×8.0	2.97×8.2	196.00
2.5×7.5	2.67×7.7	163.42	2.8×8.5	2.97×8.7	208.54
2.5×8.0	2.67×8.2	174.62	2.8×9.0	2.97×9.2	221.07
2.5×8.5	2.67×8.7	185.81	2.8×9.5	2.97×9.7	233.6
2.5×9.0	2.67×9.2	197.01	2.8×10.0	2.97×10.23	246.26

附录 19 常用绝缘材料及辅料

类别	名称	型号	主要组成材料	耐热等级
线圈用漆布	醇酸玻璃漆布（黄玻璃漆布）	2432	无碱玻璃丝布，三聚氰胺醇酸漆	B
	沥青醇酸玻璃漆布（黑玻璃漆布）	2430	无碱玻璃丝布，沥青醇酸漆	B
	聚酯玻璃漆布	241	无碱玻璃丝布，聚酯绝缘漆	F
漆管	醇酸玻璃漆管	2730	无碱玻璃丝管，醇酸漆	B
	聚氯乙烯玻璃漆管	2731	无碱玻璃丝管，改性聚氯乙烯树脂	B
	硅橡胶玻璃丝漆管	2751	无碱玻璃丝管，硅橡胶	H
	有机硅玻璃漆管	2750	无碱玻璃丝管，有机硅漆	H
云母带	醇酸绸云母带	5432	片云母，醇酸漆绸和纸，双面补强	B
	环氧玻璃粉云母带	5438—1	粉云母纸，环氧-70A 胶，无碱玻璃布	B
	环氧硼胺玻璃粉云母带	D601—1 云 448—1	粉云母纸，环氧硼胺胶，无碱玻璃布	B
	环氧桐马玻璃粉云母带	D606—1 570—1 J5444—1	粉云母纸环氧桐马胶，无碱玻璃布	F
	酚醛环氧硼胺玻璃粉云母带	D604—1 云 448—1	粉云母纸，酚醛环氧硼胺胶，无碱玻璃布	F
	环氧玻璃聚酯薄膜粉云母带	云 436—1	粉云母纸环氧硼胺胶，无碱玻璃布，聚酯薄膜	B
	酚醛环氧玻璃聚酰亚胺薄膜云母带	云 446—1	粉云母纸，酚醛环氧硼胺胶，无碱玻璃布，聚酰亚胺薄膜	F

附录 20 Y 系列(IP44,380 V,50 Hz)三相异步电动机定、转子数据

极数	功率(kW)	定子铁心			定子槽数	转子槽数	定子绕组							电磁线质量(kg)
		外径(mm)	内径(mm)	长度(mm)			每槽匝数	并联支路数	绕组型式	绕组跨距	线规			
											并绕根数	线径(mm)	截面积(mm^2)	
2	0.75	120	67	65	18	16	111	1Y	单层交叉	单 1—8 双 1—9	1	0.62	0.302	1.68
	1.1	120	67	80	18	16	90	1Y		单 1—8 双 1—9	1	0.71	0.396	1.70
	1.5	130	72	80	18	16	77	1Y		单 1—8 双 1—9	1	0.83	0.503	1.78
	2.2	130	72	110	18	16	58	1Y		单 1—8 双 1—9	1	0.96	0.724	1.95
	3	155	84	100	24	20	40	1Y	单层同心	大 1—12 小 2—11	1	1.16	1.057	2.45
	4	175	98	105	30	26	48	1△		大 1—16 中 2—15 小 3—14 双 1—14 2—13	1	1.06	0.882	3.07
	5.5	210	116	105	30	26	44	1△		大 1—16 中 2—15 小 3—14 双 1—14 2—13	1 1	0.95 0.90	1.356	5.76

（续表）

极数	功率(kW)	定子铁心			定子槽数	转子槽数	定子绕组					线规			电磁线质量(kg)
		外径(mm)	内径(mm)	长度(mm)			每槽匝数	并联支路数	绕组型式	绕组跨距		并绕根数	线径(mm)	截面积(mm^2)	
2	7.5	210	116	125	30	26	34	1△	单层同心	大 1—16 中 2—15 小 3—14	双 1—14 2—13	1 1	1.00 1.06	1.640	6.80
	11	260	150	125	30	26	28	1△		大 1—16 中 2—15 小 3—14	双 1—14 2—13	2 1	1.18 1.25	3.350	10.4
	15	260	150	155	30	26	23	1△		大 1—16 中 2—15 小 3—14	双 1—14 2—13	2 2	1.12 1.18	4.090	11.65
	18.5	260	150	195	30	26	19	1△		大 1—16 中 2—15 小 3—14	双 1—14 2—13	3 2	1.12 1.18	5.080	13.90
	22	290	160	175	36	28	16	1△	双层叠绕	1—14		2 2	1.30 1.40	5.732	14.90
	30	327	182	180	36	28	28	2△		1—14		2 2	1.12 1.18	4.094	20.50
	37	327	182	210	36	28	24	2△		1—14		1 2	1.40 1.50	5.073	23.50

（续表）

极数	功率(kW)	定子铁心 外径(mm)	定子铁心 内径(mm)	定子铁心 长度(mm)	定子槽数	转子槽数	定子绕组 每槽匝数	定子绕组 并联支路数	定子绕组 绕组型式	定子绕组 绕组跨距	线规 并绕根数	线规 线径(mm)	线规 截面积(mm²)	电磁线质量(kg)
2	45	368	210	210	36	28	22	2△	双层叠绕	1—14	3 1	1.40 1.50	6.384	30.50
	55	400	225	195	36	28	20	2△		1—14	6	1.40	9.234	38.70
	75	445	255	225	42	34	14	2△		1—16	7	1.50	12.369	42.70
	90	445	255	260	42	34	12	2△		1—16	8	1.50	14.136	46.90
4	0.55	120	75	65	24	22	128	1Y	单层链式	1—6	1	0.56	0.245	1.22
	0.75	120	75	80	24	22	103	1Y		1—6	1	0.63	0.312	1.52
	1.1	130	80	90	24	22	81	1Y		1—6	1	0.71	0.396	1.59
	1.5	130	80	120	24	22	63	1Y		1—6	1	0.80	0.503	1.78
	2.2	155	98	105	36	32	41	1Y	单层交叉	双1—9 单1—8	2	0.71	0.792	2.5
	3	155	98	135	36	32	31	1Y		双1—9 单1—8	1	1.18	1.093	2.85
	4	175	110	135	36	32	46	1△		双1—9 单1—8	1	1.06	0.882	3.68

（续表）

极数	功率 (kW)	定子铁心			定子槽数	转子槽数	定子绕组							电磁线质量 (kg)
		外径 (mm)	内径 (mm)	长度 (mm)			每槽匝数	并联支路数	绕组型式	绕组跨距	线规			
											并绕根数	线径 (mm)	截面积 (mm^2)	
4	5.5	210	136	115	36	32	47	1△	单层交叉	双 1—9 单 1—8	1 1	0.90 0.95	1.356	5.70
	7.5	210	136	165	36	32	35	1△		双 1—9 单 1—8	2	1.06	1.764	6.70
	11	260	170	155	36	26	28	1△		双 1—9 单 1—8	2	1.30	2.654	8.40
	15	260	170	195	36	26	22	1△		双 1—9 单 1—8	2 1	1.25 1.18	3.516	9.80
	18.5	290	187	190	48	44	32	2△	双层叠绕	1—11	2	1.18	2.124	12.50
	22	290	187	220	48	44	28	2△		1—11	2	1.30	2.654	14.50
	30	327	210	230	48	44	24	2△		1—11	2 2	1.06 1.12	3.734	18.40
	37	368	245	200	48	44	46	4△		1—12	2	1.25	2.454	24.10
	45	368	245	235	48	44	40	4△		1—12	1 1	1.30 1.40	2.866	26.30
	55	400	260	240	48	44	36	4△		1—12	3	1.30	3.981	34.60

（续表）

极数	功率 (kW)	定子铁心			定子槽数	转子槽数	定子绕组							电磁线质量 (kg)
		外径 (mm)	内径 (mm)	长度 (mm)			每槽匝数	并联支路数	绕组型式	绕组跨距	线规			
											并绕根数	线径 (mm)	截面积 (mm²)	
4	75	445	300	240	60	50	26	4△	双层叠绕	1—14	2 2	1.25 1.30	5.110	42.10
	90	445	300	325	60	50	20	4△		1—14	5	1.30	6.635	48.40
6	0.75	132	86	100	36	33	77	1Y	单层链式	1—6	1	0.67	0.353	1.7
	1.1	132	86	120	36	33	60	1Y		1—6	1	0.75	0.442	1.9
	1.5	155	106	100	36	33	53	1Y		1—6	1	0.85	0.574	2.0
	2.2	175	120	110	36	33	44	1Y		1—6	1	1.06	0.882	2.8
	3	210	148	110	36	33	38	1Y		1—6	1 1	0.85 0.90	1.210	3.5
	4	210	148	140	36	33	52	1△		1—6	1	1.06	0.882	4.0
	5.5	210	148	180	36	33	42	1△		1—6	1	1.25	1.227	5.2
	7.5	260	180	145	36	33	38	1△		1—6	2	1.12	1.97	7.1
	11	260	180	195	36	33	28	1△		1—6	4	0.95	2.88	8.9
	15	290	205	200	54	44	34	2△	双层叠绕	1—9	1	1.5	1.767	11.1

（续表）

极数	功率(kW)	定子铁心 外径(mm)	定子铁心 内径(mm)	定子铁心 长度(mm)	定子槽数	转子槽数	定子绕组 每槽匝数	定子绕组 并联支路数	定子绕组 绕组型式	定子绕组 绕组跨距	线规 并绕根数	线规 线径(mm)	线规 截面积(mm^2)	电磁线质量(kg)
6	18.5	327	230	190	54	44	32	2△	双层叠绕	1—9	1 1	1.12 1.18	2.047	12.3
	22	327	230	220	54	44	28	2△		1—9	2	1.25	2.454	13.8
	30	368	260	210	54	44	28	2△		1—9	2 1	1.3 1.4	4.193	23.8
	37	400	285	225	72	58	28	3△		1—12	1 2	1.12 1.18	3.109	27.2
	45	445	325	215	72	58	26	3△		1—12	2 1	1.3 1.4	4.193	34.4
	55	445	325	260	72	58	22	3△		1—12	1 2	1.4 1.5	5.073	38.6
8	2.2	210	148	110	48	44	39	1Y	单层链式	1—6	1	1.12	0.985	3.6
	3	210	148	140	48	44	31	1Y		1—6	1	1.3	1.327	4.4
	4	260	180	110	48	44	50	1△		1—6	1	1.25	1.227	6.3
	5.5	260	180	145	48	44	39	1△		1—6	2	1.0	1.570	7.2

附录 21　Y 系列(IP44、380 V、50 Hz)重绕线规可选种类

极数	功率(kW)	原绕组主要数据					其他几种可选用导线的规格和接法											
							第一种				第二种				第三种			
		并联支路数	并绕根数	线径(mm)	截面积(mm^2)	每槽匝数	并绕根数	线径(mm)	每槽匝数	并联支路数	并绕根数	线径(mm)	每槽匝数	并联支路数	并绕根数	线径(mm)	每槽匝数	并联支路数
2	0.75	1Y	1	0.62	0.302	111	1	0.47	190	1△	1	0.61	111	1Y	1	0.63	111	1Y
	1.1	1Y	1	0.71	0.396	90	1	0.55	155	1△	1	0.72	90	1Y	1	0.53	155	1△
	1.5	1Y	1	0.83	0.541	77	1	0.62	133	1△	2	0.59	77	1Y	1	0.63	133	1△
	2.2	1Y	1	0.96	0.724	58	1	0.72	100	1△	1	0.95	58	1Y	1 1	0.67 0.69	58	1Y
	3	1Y	1	1.16	1.057	40	1	0.86	69	1△	1 1	0.83 0.80	40	1Y	1	1.13	40	1Y
	4	1△	1	1.06	0.883	48	1 1	0.96 1.0	28	1Y	1	1.04	48	1△	3	0.80	28	1Y
	5.5	1△	1 1	0.95 0.9	1.346	44	2	0.93	44	1△	2	1.20	25	1Y	1 1	1.20 1.25	25	1Y
	7.5	1△	1 1	1.0 1.06	1.668	37	3	0.83	37	1△	2 1	0.85 0.80	37	1△	4	0.95	21	1Y
	11	1△	2 1	1.18 1.25	3.35	28	2 1	1.20 1.16	28	1△	2 2	1.0 1.04	28	1△	4 2	1.08 1.12	16	1Y

（续表）

极数	功率(kW)	原绕组主要数据					其他几种可选用导线的规格和接法											
							第一种				第二种				第三种			
		并联支路数	并绕根数	线径(mm)	截面积(mm^2)	每槽匝数	并绕根数	线径(mm)	每槽匝数	并联支路数	并绕根数	线径(mm)	每槽匝数	并联支路数	并绕根数	线径(mm)	每槽匝数	并联支路数
2	15	1△	2 2	1.12 1.18	4.09	23	4 2	1.20 1.25	13	1Y	3	1.30	23	1△	8	1.06	13	1Y
	18.5	1△	3 2	1.12 1.18	5.141	19	4	1.25	19	1△	3 2	1.16 1.08	19	1△	2 2	1.20 1.30	19	1△
	22	1△	2 2	1.30 1.40	5.732	16	2	1.35	32	2△	4	1.25	18	2Y	2 1	1.08 1.12	32	2△
	30	2△	2 2	1.12 1.18	4.094	28	1 3	1.08 1.16	28	2△	3	1.30	28	2△	3 3	1.25 1.20	16	2Y
	37	2△	1 2	1.40 1.50	5.073	24	4	1.25	24	2△	2 2	1.20 1.30	24	2△	3	1.45	24	2△
	45	2△	3 1	1.40 1.50	6.384	22	5	1.25	22	2△	2 3	1.20 1.30	22	2△	3 1	1.45 1.35	22	2△
	55	2△	6	1.40	9.234	20	6 1	1.30 1.25	20	2△	4 2	1.35 1.45	20	2△	5	1.50	20	2△
	75	2△	7	1.50	12.369	14	9	1.30	14	2△	8	1.40	14	2△	7	1.45	14	2△
	90	2△	8	1.50	14.136	12	9	1.40	12	2△	4 5	1.35 1.45	12	2△	10	1.30	12	2△

（续表）

极数	功率(kW)	原绕组主要数据					其他几种可选用导线的规格和接法											
							第一种				第二种				第三种			
		并联支路数	并绕根数	线径(mm)	截面积(mm^2)	每槽匝数	并绕根数	线径(mm)	每槽匝数	并联支路数	并绕根数	线径(mm)	每槽匝数	并联支路数	并绕根数	线径(mm)	每槽匝数	并联支路数
4	0.55	1Y	1	0.56	0.245	128	1	0.55	128	1Y	1	0.42	219	1△	1	0.57	128	1Y
	0.75	1Y	1	0.63	0.311 6	103	1	0.62	102	1Y	1	0.64	102	1Y	1	0.47	178	1△
	1.1	1Y	1	0.71	0.396	81	2	0.51	81	1Y	1	0.55	140	1△	1	0.72	81	1Y
	1.5	1Y	1	0.80	0.503	63	2	0.57	63	1Y	1	0.61	109	1△	1	0.62	109	1△
	2.2	1Y	2	0.71	0.792	41	1 1	0.69 0.72	41	1Y	1	0.77	71	1△	1	0.75	71	1△
	3	1Y	1	1.18	1.093	31	2	0.83	31	1Y	1	0.90	54	1△	1 1	0.8 0.85	31	1Y
	4	1△	1	1.06	0.883	46	1 1	0.96 1.00	27	1Y	3	0.80	27	1Y	2	0.75	46	1△
	5.5	1△	1 1	0.9 0.95	1.346	47	1	1.30	47	1△	2	0.93	47	1△	2	1.20	27	1Y
	7.5	1△	2	1.06	1.764	35	3	1.12	20	1Y	2 1	1.16 1.08	20	1Y	2 2	1.0 0.96	20	1Y
	11	1△	2	1.30	2.654	28	3	1.06	28	1△	4	1.20	16	1Y	2 1	1.40 1.35	16	1Y
	15	1△	2 1	1.25 1.18	3.547	22	4	1.06	22	1△	2 2	1.04 1.08	22	1△	3	1.2	22	1△

（续表）

极数	功率(kW)	原绕组主要数据					其他几种可选用导线的规格和接法											
							第一种				第二种				第三种			
		并联支路数	并绕根数	线径(mm)	截面积(mm^2)	每槽匝数	并绕根数	线径(mm)	每槽匝数	并联支路数	并绕根数	线径(mm)	每槽匝数	并联支路数	并绕根数	线径(mm)	每槽匝数	并联支路数
4	18.5	2△	2	1.18	2.186	32	3	1.35	16	1△	1 2	1.3 1.25	18	2Y	1 1	1.16 1.2	32	2△
	22	2△	2	1.30	2.654	28	2	1.20	32	4Y	1 1	1.25 1.35	28	2△	3	1.40	16	2Y
	30	2△	2 2	1.06 1.12	3.736	24	3	1.25	24	2△	2	1.08	48	4△	2 1	1.16 1.18	28	4Y
	37	4△	2	1.25	2.454	46	1 1	1.30 1.20	46	4△	3	1.35	26	4Y	4	1.16	26	4Y
	45	4△	1 1	1.30 1.40	2.866	40	2	1.35	40	4△	2 2	1.33 1.37	20	2△	5	1.20	20	2△
	55	4△	3	1.3	3.981	36	1	1.25 1.35	36	4△	5	1.4	18	2△	7	1.20	18	2△
	75	4△	2 2	1.25 1.3	5.108	26	3	1.45	26	4△	4 1	1.12 1.16	26	4△	2 1	1.50 1.40	26	4△
	90	4△	5	1.30	6.635	20	3 2	1.25 1.35	20	4△	3 1	1.45 1.4	20	4△	1 2	1.62 1.68	20	4△

（续表）

极数	功率(kW)	原绕组主要数据					其他几种可选用导线的规格和接法											
							第一种				第二种				第三种			
		并联支路数	并绕根数	线径(mm)	截面积(mm^2)	每槽匝数	并绕根数	线径(mm)	每槽匝数	并联支路数	并绕根数	线径(mm)	每槽匝数	并联支路数	并绕根数	线径(mm)	每槽匝数	并联支路数
6	0.75	1Y	1	0.67	0.353	77	1	0.51	132	1△	1	0.53	132	1△	2	0.47	76	1Y
	1.1	1Y	1	0.75	0.442	60	1	0.57	103	1△	2	0.53	60	1Y	1 1	0.51 0.55	60	1Y
	1.5	1Y	1	0.85	0.574	53	1	0.64	91	1△	1	0.86	53	1Y	2	0.6	53	1Y
	2.2	1Y	1	1.06	0.883	44	1	0.8	76	1△	2	0.75	44	1Y	2	0.74	44	1Y
	3	1Y	1 1	0.85 0.9	1.21	38	1	0.93	65	1△	1	0.95	65	1△	2	0.86	38	1Y
	4	1△	1	1.06	0.883	52	1	1.00 0.96	30	1Y	2	0.75	52	1△	1	1.4	30	1Y
	5.5	1△	1	1.25	1.227	42	1 1	0.86 0.9	42	1△	1	1.16	48	2Y	1 1	1.12 1.18	24	1Y
	7.5	1△	2	1.12	1.97	38	1	1.45	44	2Y	1 1	1.08 1.16	38	1△	3	1.18	22	1Y
	11	1△	4	0.95	2.88	28	1	1.35	56	2△	1 1	1.30 1.40	28	1△	2	0.96	56	2△
	15	2△	1	1.50	1.767	34	2	1.06	34	2△	1 1	1.35 1.40	20	2Y	1 1	1.04 1.08	34	2△

（续表）

极数	功率(kW)	原绕组主要数据					其他几种可选用导线的规格和接法											
							第一种				第二种				第三种			
		并联支路数	并绕根数	线径(mm)	截面积(mm^2)	每槽匝数	并绕根数	线径(mm)	每槽匝数	并联支路数	并绕根数	线径(mm)	每槽匝数	并联支路数	并绕根数	线径(mm)	每槽匝数	并联支路数
6	18.5	2△	1 1	1.12 1.18	2.047	32	2 1	1.3 1.35	16	1△	1 1	1.20 1.25	28	3Y	1	1.62	32	2△
	22	2△	2	1.25	2.454	28	1	1.45	42	3△	1	1.35	48	6Y	1 1	1.2 1.3	28	2△
	30	2△	2 1	1.30 1.40	4.193	28	2 1	1.35 1.25	28	2△	2	1.62	28	2△	2	1.60	28	2△
	37	3△	1 2	1.12 1.18	3.109	28	1 1	1.35 1.4	28	3△	2	1.30	32	6Y	1	1.40	56	6△
	45	3△	2 1	1.30 1.40	4.193	26	2 1	1.35 1.25	26	3△	2	1.62	26	3△	1	1.60	26	3△
	55	3△	1 2	1.4 1.5	5.073	22	2	1.25	44	6△	1 1	1.20 1.30	44	6△	3	1.45	22	3△
8	2.2	1Y	1	1.12	0.985	39	1	0.85	67	1△	1	0.86	67	1△	1 1	0.77 0.8	39	1Y
	3	1Y	1	1.30	1.327	31	1	1.00	53	1△	1	0.96	53	1△	1 1	0.9 0.93	31	1Y
	4	1△	1	1.25	1.227	49	2	1.16	28	1Y	1 1	1.12 1.18	28	1Y	1 1	0.86 0.9	49	1△

（续表）

极数	功率(kW)	原绕组主要数据					其他几种可选用导线的规格和接法											
							第一种				第二种				第三种			
		并联支路数	并绕根数	线径(mm)	截面积(mm²)	每槽匝数	并绕根数	线径(mm)	每槽匝数	并联支路数	并绕根数	线径(mm)	每槽匝数	并联支路数	并绕根数	线径(mm)	每槽匝数	并联支路数
8	5.5	1△	2	1.00	1.57	39	1 1	0.96 1.04	39	1△	3	0.8	39	1△	1	1.30	45	2Y
	7.5	1△	1 1	1.12 1.18	2.078	30	2 1	0.93 0.95	30	1△	1 1	1.06 1.08	34	2Y	2 1	1.25 1.20	17	1Y
	11	2△	2	0.9	1.272	46	1	1.25	46	2△	1 1	0.93 0.86	46	2△	2	1.18	26	2Y
	15	2△	1 1	1.12 1.06	1.864	40	2	1.08	40	2△	1 1	1.56 1.5	20	1△	2	1.18	40	2△
	18.5	2△	1 1	1.35 1.30	2.758	38	2 2	1.25 1.2	22	2Y	3	1.08	38	2△	2 1	1.06 1.12	38	2△
	22	2△	2	1.50	3.534	32	3	1.20	32	2△	2 1	1.2 1.25	32	2△	2	1.45	32	2△
	30	2△	3	1.30	3.981	22	1	1.56	44	4△	1	1.60	44	4△	2 1	1.25 1.35	22	2△
	37	4△	2	1.30	2.654	40	1 1	1.25 1.35	40	4△	3	1.45	20	2△	3	1.50	20	2△
	45	4△	1 1	1.40 1.50	3.306	34	2	1.45	34	4△	2	1.35	40	8Y	3	1.18	34	4△

附录 22　Y2 系列(IP54,380 V,50 Hz)三相异步电动机定、转子数据

序号	规格	额定功率(kW)	铁心长度(mm)	定子外径(mm)	定子内径(mm)	绕组线规(根-mm)	每绕组匝数	绕组型式	节　距	定子槽数	转子槽数	并联支路数
1	801-2	0.75	60	120	67	1-ϕ0.60	109	单层交叉	1-9,2-10,18-11	18	16	1
2	802-2	1.1	75			1-ϕ0.67	87					
3	801-4	0.55	60		75	1-ϕ0.53	129	单层链式	1-6	24	22	
4	802-4	0.75	70			1-ϕ0.60	110					
4	801-6	0.37	65			1-ϕ0.45	127			36	28	
6	802-6	0.55	85		78	1-ϕ0.53	98					
7	801-8	0.18	75			1-ϕ0.40	86	双层迭式	1-5			
8	802-8	0.25	90			1-ϕ0.45	69					
9	90S-2	1.5	80	130	72	1-ϕ0.80	77	单层交叉	1-9,2-10,18-11	18	16	1
10	90L-2	2.2	105			1-ϕ0.95	59					
11	90S-4	1.1	75		80	1-ϕ0.67	90	单层链式	1-6	24	22	
12	90L-4	1.5	105			1-ϕ0.80	67					
13	90S-6	0.75	85		86	1-ϕ0.63	84			36	28	
14	90L-6	1.1	115			1-ϕ0.75	63					

（续表）

序号	规格	额定功率(kW)	铁心长度(mm)	定子外径(mm)	定子内径(mm)	绕组线规(根-mm)	每绕组匝数	绕组型式	节距	定子槽数	转子槽数	并联支路数
15	90S-8	0.37	100	130	86	1-ϕ0.50	55	双层迭式	1-5	36	28	1
16	90L-8	0.55	125			1-ϕ0.63	42					
17	100L-2	3.0	90	155	84	2-ϕ0.80	43	单层同心	1-12,2-11	24	20	
18	100L1-4	2.2	90		98	1-ϕ0.67 1-ϕ0.71	44	单层交叉	1-9,2-10,18-11	36	28	
19	100L2-4	3.0	120			1-ϕ1.12	34					
20	100L-6	1.5	85		106	1-ϕ0.85	61	单层链式	1-6			
21	100L1-8	0.75	70			1-ϕ0.71	79			48	48	
22	100L2-8	1.1	90			1-ϕ0.80	62					
23	112M-2	4.0	90	175	98	1-ϕ0.95	54	单层同心	1-16,2-15,3-14, 17-30,18-29	30	26	1
24	112M-4	4.0	120		110	1-ϕ1.0	52	单层交叉	1-9,2-10,18-11	36	28	
25	112M-6	2.2	95		120	1-ϕ1.0	50	单层链式	1-6			
26	112M-8	1.5	95			1-ϕ0.95	51			48	44	
27	132S1-2	5.5	90	210	116	2-ϕ0.90	44	单层同心	1-16,2-15,3-14, 17-30,18-29	30	26	
28	132S2-2	7.5	105			1-ϕ0.95 1-ϕ0.1	38					

（续表）

序号	规格	额定功率(kW)	铁心长度(mm)	定子外径(mm)	定子内径(mm)	绕组线规(根-mm)	每绕组匝数	绕组型式	节距	定子槽数	转子槽数	并联支路数
29	132S-4	5.5	105	210	136	1-φ1.18	47	单层交叉	1-9,2-10,18-11	36	28	1
30	132M-4	7.5	145			2-φ0.95	35					
31	132S-6	3.0	85		148	1-φ1.18	43	单层链式	1-6		42	
32	132M1-6	4.0	115			1-φ0.71	56					
33	132M2-6	5.5	155			1-φ1.18	43					
34	132S-8	2.2	85			1-φ1.0	42			48	44	
35	132M-8	3.0	115			2-φ0.80	33					
36	160M1-2	11	115	170	150	3-φ1.06	28	单层同心	1-16,2-15,3-14,17-30,18-29	30	26	1
37	160M2-2	15	140			3-φ1.18	23					
38	160L-2	18.5	175			2-φ0.90 4-φ0.95	19					
39	160M-4	11	135			1-φ1.18 1-φ1.25	29	单层交叉	1-9,2-10,18-11	36	28	
40	160L-4	15	180			1-φ1.12 1-φ1.18	22					
41	160M-6	7.5	120	260	180	1-φ1.0 1-φ1.06	40	单层链式	1-6			
42	160L-6	11	170			2-φ1.25	29					
43	160M1-8	4.0	85			1-φ1.06	56			44	48	

（续表）

序号	规格	额定功率（kW）	铁心长度（mm）	定子外径（mm）	定子内径（mm）	绕组线规（根-mm）	每绕组匝数	绕组型式	节距	定子槽数	转子槽数	并联支路数
44	160M2-8	5.5	120	260	180	1-ϕ0.85 1-ϕ0.9	41	单层链式	1-6	44	48	1
45	160L-8	7.5	170			2-ϕ1.0	30					
46	180M-2	22	165	290	165	2-ϕ1.25	17	双层迭式	1-14	36	28	2
47	180M-4	18.5	170		187	1-ϕ1.06 1-ϕ1.12	17		1-11	48	38	
48	180L-4	22	190			2-ϕ1.18	15					
49	180L-6	15	170		205	1-ϕ0.95 1-ϕ1.0	19		1-9	54	44	
50	180L-8	11	165			1-ϕ1.3	28		1-6	48	44	
51	200L1-2	30	160	327	187	1-ϕ1.18 2-ϕ1.25	15/16	双层迭式	1-14	36	28	2
52	200L2-2	37	195			2-ϕ1.12 2-ϕ1.18	13					
53	200L-4	30	195		210	3-ϕ1.18	13		1-11	48	38	
54	200L1-6	18.5	160		230	2-ϕ1.06	17		1-9	54	44	
55	200L2-6	22	185			1-ϕ1.12 1-ϕ1.18	15					
56	200L-8	15	175			1-ϕ1.06 1-ϕ1.12	23		1-6	48	44	
57	225M-2	45	175	368	210	3-ϕ1.5	12	双层迭式	1-14	36	28	2
58	225S-4	37	180		245	3-ϕ0.95	25		1-12	48	38	

（续表）

序号	规格	额定功率(kW)	铁心长度(mm)	定子外径(mm)	定子内径(mm)	绕组线规(根-mm)	每绕组匝数	绕组型式	节距	定子槽数	转子槽数	并联支路数
59	225M-4	45	220	368	245	3-ϕ1.3	21/20	双层迭式	1-12	48	38	2
60	225M-6	30	180		260	2-ϕ1.3	22		1-9	54	44	
61	225S-8	18.5	160			2-ϕ1.25	22		1-6	48	44	
62	225M-8	22	190			4-ϕ0.951	19					
63	250M-2	55	190	400	225	1-ϕ1.3 4-ϕ1.4	10	双层迭式	1-14	36	28	2
64	250M-4	55	205		260	1-ϕ1.4 3-ϕ1.5	10		1-11	48	38	2
65	250M-6	37	190		285	3-ϕ1.06	15		1-12	72	60	3
66	250M-8	30	200		285	3-ϕ1.25	11		1-9	72	58	2
67	280S-2	75	185	445	255	6-ϕ1.3 1-ϕ1.4	8	双层迭式	1-16	42	34	2
68	280M-2	90	215			6-ϕ1.3 2-ϕ1.4	7					
69	280S-4	75	215		300	3-ϕ1.4	14		1-14	60	50	4
70	280M-4	90	270			1-ϕ1.3 3-ϕ1.4	11					
71	280S-6	45	180		325	3-ϕ1.18	13		1-12	72	58	3
72	280M-6	55	215			3-ϕ1.3	11					
73	280S-8	37	190			1-ϕ1.12 1-ϕ1.18	21		1-9			4
74	280M-8	45	235			2-ϕ1.25	17					

（续表）

序号	规格	额定功率(kW)	铁心长度(mm)	定子外径(mm)	定子内径(mm)	绕组线规(根-mm)	每绕组匝数	绕组型式	节　距	定子槽数	转子槽数	并联支路数
75	315S-2	110	260	520	300	12-ϕ1.4　3-ϕ1.5	5	双层迭式	1-18	48	40	2
76	315M-2	132	300			8-ϕ1.4　8-ϕ1.5	4/5					
77	315L1-2	160	340			10-ϕ1.4　8-ϕ1.5	4					
78	315L2-2	200	385			15-ϕ1.4　6-ϕ1.5	3/4					
79	315S-4	110	265		350	5-ϕ1.4　1-ϕ1.5	9		1-16	72	64	4
80	315M-4	132	325			4-ϕ1.4　3-ϕ1.5	7/8					
81	315L1-4	160	370			4-ϕ1.4　4-ϕ1.56	6/7					
82	315L2-4	200	450			9-ϕ1.4　1-ϕ1.5	5/6					
83	315S-6	75	245	520	375	3-ϕ1.4	20	双层迭式	1-11	72	58	6
84	315M-6	90	290			3-ϕ1.3　1-ϕ1.4	17					
85	315L1-6	110	360			1-ϕ1.4　3-ϕ1.5	14					
86	315L2-6	132	415			4-ϕ1.4　1-ϕ1.5	12					
87	315S-8	55	230		390	2-ϕ1.25	32		1-9			8
88	315M-8	75	315			1-ϕ1.4　1-ϕ1.5	24					
89	315L1-8	90	375			1-ϕ1.25　2-ϕ1.3	20					
90	315L2-8	110	440			3-ϕ1.4	17			90	72	5

（续表）

序号	规格	额定功率(kW)	铁心长度(mm)	定子外径(mm)	定子内径(mm)	绕组线规(根-mm)	每绕组匝数	绕组型式	节距	定子槽数	转子槽数	并联支路数
91	315S-10	45	230	520	390	2-ϕ1.5	21	双层迭式	1-9	90	72	5
92	315M-10	55	280			1-ϕ1.3　2-ϕ1.4	17					
93	315L1-10	75	375			2-ϕ1.3　2-ϕ1.4	13					
94	315L2-10	90	440			4-ϕ1.5	11					
95	355M-2	250	410	590	350	20-ϕ1.5　11-ϕ1.4	3	双层迭式	1-18	48	40	2
96	355L-2	315	530			30-ϕ1.5　11-ϕ1.4	3/2					
97	355M-4	250	410		400	13-ϕ1.5	6/5		1-16	72	64	4
98	355L-4	315	510			14-ϕ1.5　2-ϕ1.4	5/4					
99	355M1-6	160	350		425	3-ϕ1.3　3-ϕ1.4	12		1-11			6
100	355M2-6	200	450			7-ϕ1.4	10/9					
101	355L-6	250	550			9-ϕ1.4	8/7		1-12			
102	355M1-8	132	350			2-ϕ1.4　2-ϕ1.3	18		1-9			8
103	355M2-8	160	430			3-ϕ1.5　1-ϕ1.4	15					
104	355L-8	200	550			3-ϕ1.4　3-ϕ1.3	12					
105	355M1-10	110	380			2-ϕ1.4　1-ϕ1.3	23			90	72	10
106	355M2-10	132	450			3-ϕ1.5	19					
107	355L-10	160	550			2-ϕ1.4　2-ϕ1.5	16					

附录 23　YR 系列绕线转子电动机定、转子绕组技术数据

型号	功率(kW)	定子铁心				定子绕组							转子绕组								
		外径(mm)	内径(mm)	长度(mm)	槽数	每槽匝数	绕组跨距	额定电流(A)	线规 线径(mm)	线规 并绕根数	并联支路数	平均半匝长度(mm)	槽数	每槽匝数	线规 线径*(mm)	线规 并绕根数	绕组跨距	并联支路数	电流(A)	电压(V)	平均半匝长度(mm)
YR132M1-4	4	210	136	115	36	102	1—9	9.3	0.8	1	2	280	24	28	1.03	3	1—6	1	11.5	230	237
YR132M2-4	5.5	210	136	155	36	74	1—9	12.6	0.95	1	2	320	24	24	1.12 1.18	2 1	1—6	1	13	272	297
YR160M-4	7.5	260	170	130	36	74	1—9	15.7	1.12	1	2	321	24	44	1.03 1.06	2 1	1—6	2	19.5	250	262
YR160L-4	11	260	170	185	36	52	1—9	22.5	0.95	2	2	376	24	34	1.18	3	1—6	2	25	276	317
YR180L-4	15	290	187	205	48	32	1—11	30	1.06	2	2	403	36	18	1.3	3	1—9	2	34	278	369
YR200L1-4	18.5	327	210	175	48	64	1—11	36.7	1.18	1	4	395	36	16	1.4	4	1—9	2	47.5	247	355
YR200L1-4	18.5	327	210	175	48	64	1—11	36.7	1.18	1	4	395	36	8	2×5.6	1	1—9	1	47.5	247	412
YR200L2-4	22	327	210	205	48	54	1—11	43.2	1.3	1	4	425	36	16	1.4	4	1—9	2	47	293	385
YR200L2-4	22	327	210	205	48	54	1—11	43.2	1.3	1	4	425	36	8	2×5.6	1	1—9	1	47	293	442
YR225M-4	30	368	245	215	48	22	1—11	57.6	1.25	3	2	458	36	16	1.25	6	1—9	2	51.5	360	416

（续表）

型号	功率(kW)	定子铁心				定子绕组							转子绕组								
		外径(mm)	内径(mm)	长度(mm)	槽数	每槽匝数	绕组跨距	额定电流(A)	线规 线径(mm)	线规 并绕根数	并联支路数	平均半匝长度(mm)	槽数	每槽匝数	线规 线径*(mm)	线规 并绕根数	绕组跨距	并联支路数	电流(A)	电压(V)	平均半匝长度(mm)
YR225M-4	30	368	245	215	48	22	1—11	57.6	1.25	3	2	458	36	8	2.5×5.6	1	1—9	1	51.5	360	477
YR250M1-4	37	400	260	220	48	40	1—12	71.4	1.25	2	4	506	36	12	1.4	8	1—9	2	79	289	437
YR250M1-4	37	400	260	220	48	40	1—12	71.4	1.25	2	4	506	36	6	2×5.6	2	1—9	1	79	289	501
YR250M2-4	45	400	260	260	48	34	1—12	85.9	1.12	3	4	546	36	12	1.4	8	1—9	2	81	340	477
YR250M2-4	45	400	260	260	48	34	1—12	85.9	1.12	3	4	546	36	6	2×5.6	2	1—9	1	81	340	541
YR280S-4	55	445	300	240	60	26	1—14	103.8	1.5	2	4	544	48	12	1.4	7	1—12	2	70	485	499
YR280S-4	55	445	300	240	60	26	1—14	103.8	1.5	2	4	544	48	6	2×5	2	1—12	1	70	485	562
YR280M-4	75	445	300	340	60	18	1—14	140	1.4 1.5	1 2	4	644	48	12	1.4	7	1—12	4	128	354	599
YR280M-4	75	445	300	340	60	18	1—14	140	1.4 1.5	1 2	4	644	48	6	2×5	2	1—12	4	128	354	662
YR132M1-6	3	210	148	125	48	40	1—8	8.2	1.0	1	1	248	36	20	1.0	3	1—6	1	9.5	206	223
YR132M2-6	4	210	148	165	48	70	1—8	10.7	0.8	1	2	288	36	34	0.95	2	1—6	2	11	230	263
YR160M-6	5.5	260	180	140	48	66	1—8	13.4	1.0	1	2	278	36	34	1.06	2	1—6	2	14.5	244	245
YR160L-6	7.5	260	180	185	48	50	1—8	17.9	1.18	1	2	323	36	28	1.18	2	1—6	2	18	266	290

（续表）

型号	功率(kW)	定子铁心				定子绕组							转子绕组								
		外径(mm)	内径(mm)	长度(mm)	槽数	每槽匝数	绕组跨距	额定电流(A)	线规 线径(mm)	线规 并绕根数	并联支路数	平均半匝长度(mm)	槽数	每槽匝数	线规 线径*(mm)	线规 并绕根数	绕组跨距	并联支路数	电流(A)	电压(V)	平均半匝长度(mm)
YR180L-6	11	290	205	205	54	38	1—9	23.6	1.25	1	2	366	36	28	1.0	4	1—6	2	22.5	310	329
YR200L-6	15	327	230	190	54	34	1—9	31.8	1.06 1.12	1 1	2	365	36	16	1.18 1.25	2 4	1—6	2	48	198	325
YR200L-6	15	327	230	190	54	34	1—9	31.8	1.16 1.12	1 1	2	365	36	8	2.24× 5.6	1	1—6	1	48	198	388
YR225M1-6	18.5	368	260	160	54	36	1—9	38.3	1.18 1.25	1 1	2	351	36	16	1.25	8	1—6	2	62.5	187	325
YR225M1-6	18.5	368	260	160	54	36	1—9	38.3	1.18 1.25	1 1	2	351	36	8	2.8× 6.3	1	1—6	1	62.5	187	371
YR225M2-6	22	368	260	190	54	30	1—9	45	1.3 1.4	1 1	2	381	36	16	1.25	8	1—6	2	61	224	335
YR225M2-6	22	368	260	190	54	30	1—9	45	1.3 1.4	1 1	2	381	36	8	2.8× 6.3	1	1—6	1	61	224	401
YR250M1-6	30	400	285	230	72	18	1—12	60.3	1.12 1.18	3 1	2	453	48	12	1.4	7	1—8	2	66	282	407
YR250M1-6	30	400	285	230	72	18	1—12	60.3	1.18 1.12	1 3	2	453	48	6	2.24× 5	2	1—8	1	66	282	476
YR250M2-6	37	400	285	260	72	16	1—12	73.9	1.4	3	2	483	48	12	1.3 1.4	5 3	1—8	2	69	331	437

（续表）

型号	功率 (kW)	定子铁心				定子绕组							转子绕组								
		外径 (mm)	内径 (mm)	长度 (mm)	槽数	每槽匝数	绕组跨距	额定电流 (A)	线规 线径 (mm)	线规 并绕根数	并联支路数	平均半匝长度 (mm)	槽数	每槽匝数	线规 线径* (mm)	线规 并绕根数	绕组跨距	并联支路数	电流 (A)	电压 (V)	平均半匝长度 (mm)
YR250M2-6	37	400	285	260	72	16	1—12	73.9	1.4	3	2	483	48	6	2.24×5	2	1—8	1	69	331	506
YR280S-6	45	445	325	250	12	14	1—12	87.9	1.4 1.5	3 1	2	493	48	12	1.3 1.4	3 6	1—8	2	76	362	448
YR280S-6	45	445	325	250	72	14	1—12	87.9	1.4 1.5	3 1	2	493	48	6	2.5×5.6	2	1—8	1	76	362	514
YR280M-6	55	445	325	290	72	12	1—12	106.9	1.5 1.6	3 1	2	533	48	12	1.4	9	1—8	2	80	423	499
YR280M-6	55	445	325	290	72	12	1—12	106.9	1.5 1.6	3 1	2	533	48	6	2.5×5.6	2	1—8	1	80	423	554
YR160M-8	4	260	180	140	48	92	1—6	10.7	0.9	1	2	247	36	42	0.95	2	1—5	2	12	216	230
YR160L-8	5.5	260	180	185	48	70	1—6	14.2	1.0	1	2	292	36	34	1.06	2	1—5	2	15.5	230	275
YR180L-8	7.5	290	205	180	54	28	1—7	18.4	1.06 1.12	1 1	1	310	36	34	1.30 1.25	1 1	1—5	2	19	255	287
YR200L-8	11	327	230	190	54	44	1—7	26.6	0.95	2	2	332	36	16	1.18 1.25	2 4	1—5	2	46	152	313
YR200L-8	11	327	230	190	54	44	1—7	26.6	0.95	2	2	332	36	8	2.2×5.6	1	1—5	1	46	152	373

（续表）

型号	功率(kW)	定子铁心				定子绕组							转子绕组								
		外径(mm)	内径(mm)	长度(mm)	槽数	每槽匝数	绕组跨距	额定电流(A)	线规 线径(mm)	线规 并绕根数	并联支路数	平均半匝长度(mm)	槽数	每槽匝数	线规 线径*(mm)	线规 并绕根数	绕组跨距	并联支路数	电流(A)	电压(V)	平均半匝长度(mm)
YR225M1－8	15	368	260	190	54	40	1—7	34.5	1.12	2	2	344	36	16	1.25	8	1—5	1	56	169	314
YR225M1－8	15	368	260	190	54	40	1—7	34.5	1.12	2	2	344	36	8	2.8×6.3	1	1—5	2	56	169	381
YR225M2－8	18.5	368	260	235	54	32	1—7	42.1	1.3	2	2	389	36	16	1.25	8	1—5	2	54	211	359
YR225M2－8	18.5	368	260	235	54	32	1—7	42.1	1.3	2	2	389	36	8	2.8×6.3	1	1—5	1	54	211	426
YR250M1－8	22	400	285	230	72	48	1—9	48.1	1.4	1	4	406	48	12	1.4	7	1—6	2	65.5	210	370
YR250M1－8	22	400	285	230	72	48	1—9	48.1	1.4	1	4	406	48	6	2.24×5	2	1—6	1	65.5	210	443
YR250M2－8	30	400	285	280	72	74	1—9	66.1	1.12	1	8	456	48	12	1.4	7	1—6	2	69	270	430
YR250M2－8	30	400	285	280	72	74	1—9	66.1	1.12	1	8	456	48	6	2.24×5	2	1—6	1	69	270	493
YR280S－8	37	445	325	250	72	36	1—9	78.2	1.0	3	4	440	48	12	1.4	9	1—6	2	81.5	281	414
YR280S－8	37	445	325	250	72	36	1—9	78.2	1.0	3	4	440	48	6	2.5×5.6	2	1—6	1	81.5	281	476
YR280M－8	45	445	325	340	72	28	1—9	92.9	1.4	2	4	530	48	12	1.3 1.4	3 6	1—6	2	76	359	494
YR280M－8	45	445	325	340	72	28	1—9	92.9	1.4	2	4	530	48	6	2.5×5.6	2	1—6	1	76	359	566

（续表）

型号	功率 (kW)	定子铁心				定子绕组			线规				转子绕组		线规						
		外径 (mm)	内径 (mm)	长度 (mm)	槽数	每槽匝数	绕组跨距	额定电流 (A)	线径 (mm)	并绕根数	并联支路数	平均半匝长度 (mm)	槽数	每槽匝数	线径* (mm)	并绕根数	绕组跨距	并联支路数	电流 (A)	电压 (V)	平均半匝长度 (mm)
YR160M-4	7.5	290	187	85	48	34	1—11	16.1	1.5	1	1	283	36	18	1.12	3	1—9	1	19	260	245
YR160L1-4	11	290	187	115	48	50	1—11	22.7	0.85	2	2	313	36	14	1.12	4	1—9	1	26	275	275
YR160L2-4	15	290	187	150	48	38	1—11	30.8	1.0	2	2	348	36	10	1.3 1.4	3 1	1—9	1	37	260	310
YR180M-4	18.5	327	210	135	48	40	1—11	36.7	1.12	2	2	354	36	8	1.8×5	1	1—9	1	61	197	373
YR180L-4	22	327	210	155	48	34	1—11	43.2	1.18 1.25	1 1	2	374	36	8	1.8×5	1	1—9	1	61	232	393
YR200M-4	30	368	245	145	48	62	1—11	58.2	0.95	2	4	383	36	8	2×5.6	1	1—9	1	76	255	401
YR200L-4	37	368	245	175	48	50	1—11	71.8	1.0	2	4	418	36	8	2×5.6	1	1—9	1	74	316	436
YR225M1-4	45	400	260	155	48	24	1—12	87.3	1.12 1.18	1 3	2	440	36	6	1.8×4.5	2	1—9	1	120	240	439
YR225M2-4	55	400	260	185	48	40	1—12	105.5	1.25 1.30	1 1	4	470	36	6	1.8×4.5	2	1—9	1	121	288	469
YR250S-4	75	445	300	185	60	14	1—14	141.5	1.25 1.30	2 3	2	489	48	6	1.6×4.5	2	1—12	1	105	449	504

（续表）

型号	功率(kW)	定子铁心				定子绕组							转子绕组								
		外径(mm)	内径(mm)	长度(mm)	槽数	每槽匝数	绕组跨距	额定电流(A)	线规 线径(mm)	线规 并绕根数	并联支路数	平均半匝长度(mm)	槽数	每槽匝数	线规 线径*(mm)	线规 并绕根数	绕组跨距	并联支路数	电流(A)	电压(V)	平均半匝长度(mm)
YR250M-4	90	445	300	215	60	12	1—14	168.8	1.25 1.30	4 2	2	519	48	6	1.6× 4.5	2	1—12	1	107	524	534
YR280S-4	110	493	330	200	60	24	1—14	205.2	1.25	4	4	533	48	4	2.24× 6.3	2	1—12	1	196	349	557
YR280M-4	132	493	330	240	60	20	1—14	243.6	1.4	4	4	573	48	4	2.24× 6.3	2	1—12	1	194	419	597
YR160M-6	5.5	290	205	95	54	36	1—9	13.2	0.95	2	1	256	36	24	1.18× 1.25	1 1	1—6	1	13	279	217
YR160L-6	7.5	290	205	115	54	58	1—9	175	1.06	1	2	276	36	18	1.12	3	1—6	1	19	260	237
YR180M-6	11	327	230	125	54	46	1—9	25.4	1.4	1	2	300	36	8	1.8× 4	1	1—6	1	50	146	325
YR180L-6	15	327	230	155	54	36	1—9	33.7	1.06	2	2	330	36	8	1.8× 4	1	1—6	1	53	187	355
YR200M-6	18.5	368	260	135	54	36	1—9	40.1	1.18	2	2	326	36	8	1.8× 5	1	1—6	1	65	187	346
YR200L-6	22	368	260	165	54	30	1—9	46.6	1.3 1.4	1 1	2	356	36	8	1.8× 5	1	1—6	1	63	224	376
YR225M1-6	30	400	285	145	72	38	1—12	61.3	1.12	2	3	368	54	6	1.6× 4.5	2	1—9	1	86	227	390

（续表）

型号	功率(kW)	定子铁心				定子绕组							转子绕组								
		外径(mm)	内径(mm)	长度(mm)	槽数	每槽匝数	绕组跨距	额定电流(A)	线规 线径(mm)	线规 并绕根数	并联支路数	平均半匝长度(mm)	槽数	每槽匝数	线规 线径*(mm)	线规 并绕根数	绕组跨距	并联支路数	电流(A)	电压(V)	平均半匝长度(mm)
YR225M2-6	37	400	285	175	72	30	1—12	74.3	1.25 1.18	1 1	3	398	54	6	1.6×4.5	2	1—9	1	82	287	420
YR250S-6	45	445	325	165	72	28	1—12	90.4	1.4	2	3	408	54	6	1.8×4.5	2	1—9	1	93	307	428
YR250M-6	55	445	325	195	72	24	1—12	108.6	1.06	4	3	438	54	6	1.8×4.5	2	1—9	1	97	359	458
YR280S-6	75	493	360	185	72	22	1—12	143.1	1.4	3	3	448	54	6	2×5	2	1—9	1	121	392	474
YR280M-6	90	493	360	240	72	18	1—12	168.8	1.5	3	3	503	54	6	2×5	2	1—9	1	118	481	529
YR160M-8	4	290	205	95	54	48	1—7	10.9	1.18	1	1	226	36	30	1.06 1.12	1 1	1—5	1			201
YR160L-8	5.5	290	205	115	54	38	1—7	14.4	0.95	2	1	246	36	22	1.25	2	1—5	1	15	243	221
YR180M-8	7.5	327	230	125	54	64	1—7	19	1.18	1	2	267	36	8	1.8×4	1	1—5	1	49	105	307
YR180L-8	11	327	230	155	54	48	1—7	27.6	1.3	1	2	296	36	8	1.8×4	1	1—5	1	53	140	337
YR200M-8	15	368	260	135	54	44	1—7	36.7	1.6	1	2	288	36	8	1.8×5	1	1—5	1	64	153	326

（续表）

型号	功率(kW)	定子铁心				定子绕组							转子绕组								
		外径(mm)	内径(mm)	长度(mm)	槽数	每槽匝数	绕组跨距	额定电流(A)	线规 线径(mm)	线规 并绕根数	并联支路数	平均半匝长度(mm)	槽数	每槽匝数	线规 线径*(mm)	线规 并绕根数	绕组跨距	并联支路数	电流(A)	电压(V)	平均半匝长度(mm)
YR200L-8	18.5	368	260	165	54	36	1—7	44.8	1.25	2	2	318	36	8	1.8×5	1	1—5	1	64	187	356
YR225M1-8	22	400	285	145	72	62	1—9	49.8	1.25	1	4	321	48	6	1.6×4.5	2	1—6	1	90	161	352
YR225M2-8	30	400	285	200	72	46	1—9	66.3	1.0	2	4	376	48	6	1.6×4.5	2	1—6	1	97	200	403
YR225M2-8	30	400	285	175	72	50	1—9	66.3	1.4	1	4	351	48	6	1.6×4.5	2	1—6	1	97	200	382
YR250-8	37	445	325	165	72	46	1—9	81.3	1.06 1.12	1 1	4	355	48	6	1.8×4.5	2	1—6	1	110	218	385
YR250M-8	45	445	325	195	72	38	1—9	97.8	1.18 1.25	1 1	4	385	48	6	1.8×4.5	2	1—6	1	109	264	415
YR280-8	55	493	360	185	72	36	1—9	114.5	1.3 1.4	1 1	4	390	48	6	2×5	2	1—6	1	125	279	426
YR280M-8	75	493	360	240	72	28	1—9	154.4	1.5 1.6	1 1	4	445	48	6	2×5	2	1—6	1	131	359	481

注 * 此栏中凡是数据带有乘号“×”的，均指扁铜线，下同。
定子绕组均为△接，转子绕组均为Y接。
定子绕组均采用双层叠绕形式。

附录 24　环境温度及海拔高度对电动机输出功率的影响

环境温度(℃)	海拔高度(m)				
	1 000	1 500	2 000	2 500	3 000
	允许输出功率占额定功率的百分数(%)				
30	100	100	100	98	95
35	100	100	97	94	91
40	100	97	93	90	87
45	95	92	88	85	83
50	90	87	84	81	—
55	85	82	—	—	—
60	80	—	—	—	—

参考文献

[1] 才家刚. 电机试验技术及设备手册(第 2 版). 北京：机械工业出版社,2012
[2] 才家刚. 图解常用量具的使用方法和测量实例. 北京：机械工业出版社,2007
[3] 才家刚. 电工口诀(第 3 版). 北京：机械工业出版社,2010
[4] 才家刚. 电机组装工艺及常规检测. 北京：化学工业出版社,2008
[5] 才家刚. 电机机械测量与考核实例. 北京：机械工业出版社,2008
[6] 才家刚. 图解电机选、用、修现代技术问答. 北京：机械工业出版社,2012
[7] 才家刚. 零起步看图学电机使用与维护. 北京：化学工业出版社,2010



三相异步电动机
维修手册

◎ 责任编辑 [illegible] 朱 剑 ◎ 封面设计 赵 军



上架建议：电工电子
ISBN 978-7-5478-2058-2





定价：35.00元
易文网：www.ewen.cc